

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

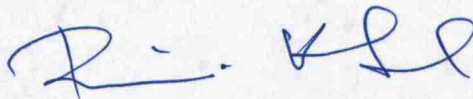
Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Marko Altonen

IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönotto vaihdeverkossa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 5.2.2003

Työn valvoja:



Prof. Raimo Kantola

Työn ohjaaja:

DI Sari Lehtonen



Tekijä:	Marko Altonen
Työn nimi:	IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönotto vaihdeverkossa
Päivämäärä:	4.2.2003
	Sivumäärä: 69
Osasto:	Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto
Professuuri:	S-38 Teletekniikka
Valvoja:	Professori Raimo Kantola
Ohjaaja:	DI Sari Lehtonen
<p>IP-pohjaiset puhelinratkaisut uusine palveluineen ja mahdollisuuksineen ovat haastamassa perinteisen piirikytkentäisen puheensiirron. Laajamittainen käyttöönotto on vielä edessä, mutta useat suuret puhelinpalvelukeskukset ovat jo ottaneet käyttöönsä tämän uuden tavan välittää puheluita.</p> <p>Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönottoa eri näkökulmista. Kyseeseen tulevat laadulliset, taloudelliset sekä yrityksen asiakaspalvelun näkökulmat. Lisäksi tarkastellaan niitä muutoksia, joita käyttöönotto mahdollisesti aiheuttaa tietoverkkoon, sekä tietoverkon turvallisuutta puhelinliikenteen siirtomediana. Lopuksi tavoitteena on kehittää malli käyttöönoton eri vaiheista.</p> <p>Työssä ei löydetty yksiselitteistä vastausta siihen, kannattaako yrityksen ottaa käyttöön IP-pohjainen puheratkaisu. Vaikka yritysten tietoverkot ovatkin miltei valmiita tämän teknologian käyttöönottoon ja vaikka IP-pohjainen puheratkaisu tuo säästöjä puhelinjärjestelmään ja uudella järjestelmällä on lukuisia hyviä vaikutuksia yrityksen liiketoimintaan, sisältää uuden puheratkaisun käyttöönotto myös ongelmia. Suurimpia näistä ovat äänen laatuun ja tietoverkon aiheuttamiin viiveisiin liittyvät ongelmat.</p>	
Avainsanat:	VoIP, IP-puhe, Voice over IP, puheenlaatu, puheen siirto pakettiverkossa

Author: Marko Altonen

Name of the Thesis: Implementing IP-based telephony solution

Date: 4.2.2003

Number of Pages: 69

Department: Electrical and Communications Engineering

Professorship: S-38 Networking Technology

Supervisor: Professor Raimo Kantola

Instructor: M.Sc. Sari Lehtonen

At the moment IP-based telephony systems are challenging the traditional circuit switched voice transmission. Large-scale implementation still remains ahead, but several big call centers have already adopted the new telephony system to their daily use.

The goal of this master's thesis is to investigate different aspects of the IP-telephony implementation in a company. The analysis includes economical, qualitative and customer service perspectives. In addition to this, I study the security of the data network as a voice transmission media and the possible changes that have to be made to the company's network in order to enable the IP-telephony service. Finally, a model presenting the implementation phases will be introduced.

This thesis does not give an unambiguous answer to whether a company should implement an IP-telephony system. Even if the company data networks are almost ready for the new technology, and the IP-telephony system cuts operating costs and affects the business positively, it also introduces some problems. The most significant problems relate to the voice quality and delays in the telephone calls.

Keywords: VoIP, IP-voice, Voice over IP, voice quality, voice transmission in the packet networks

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	TAUSTAA.....	2
1.2	TAVOITE.....	2
1.3	TYÖN RAKENNE	3
2	KESKEISTEN TEKNIKOIDEN KUVAUS.....	4
2.1	PUHE IP-VERKOSSA.....	4
2.2	ÄÄNENLAADUN ARVIOINTI	5
2.2.1	<i>Subjekttiivinen äänenlaadun mittaus.....</i>	<i>6</i>
2.2.2	<i>E-malli.....</i>	<i>7</i>
2.2.3	<i>Puheen koodaaminen.....</i>	<i>11</i>
2.2.4	<i>Viiveet.....</i>	<i>14</i>
2.2.5	<i>Pakettihukka.....</i>	<i>18</i>
2.2.6	<i>Tiedonsiirtokapasiteetti</i>	<i>19</i>
2.3	PROTOKOLLAT IP-PUHEENSIIRROSSA	20
2.3.1	UDP.....	20
2.3.2	RTP.....	20
2.3.3	RTCP	21
2.3.4	H.323	21
2.3.5	SIP ja MGCP	23
2.4	DATA- JA PUHELINVERKON YHDISTÄMINEN	23
2.4.1	<i>Yhdyskäytävä.....</i>	<i>23</i>
2.4.2	<i>Portinvartija.....</i>	<i>23</i>
2.4.3	<i>MCU.....</i>	<i>24</i>
3	KAPITEELIN TIETO- JA PUHELINVERKKO.....	25
3.1	NYKYISEN PUHELINJÄRJESTELMÄN ONGELMAT	26
3.2	MUUTOKSET TIETOVERKKOON.....	27
3.3	TURVALLISUUS	32
3.3.1	<i>Suosituksset.....</i>	<i>34</i>
3.3.2	<i>Tapaus Kapiteeli</i>	<i>35</i>
3.4	LUOTETTAVUUS	37
4	KÄYTTÖÖNOTON VAIKUTUKSET LIIKETOIMINTAAN	39
4.1	YLEISTÄ	39
4.2	ASIAKASPALVELU	40
4.3	KUSTANNUKSET.....	43
4.3.1	<i>Takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo</i>	<i>45</i>
4.4	TOIMISTOTYÖNTEKIJÄ.....	47
4.5	MUITA HYÖTYJÄ JA HAITTOJA.....	49
5	PUHEENLAADUN MITTAUKSET	51
5.1	MENETELMÄT	51
5.2	MITTAUSJÄRJESTELY.....	52
5.3	MITTAUSTULOKSET.....	54
5.4	POHDINNAT	56

6	KÄYTTÖÖNOTON VAIHEET	59
6.1	TARVEKARTOITUS	59
6.2	JÄRJESTELMÄN JA PALVELUN VALINTA	60
6.3	VERKON VoIP-VALMIUDEN SELVITYS	61
6.4	PILOTTIVAIHEEN ASENNUS JA TESTAUS	61
6.5	PILOTOINTI	62
6.6	VAIHEITTAINEN KÄYTTÖÖNOTTO.....	62
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	63
	LÄHDELUETTELO:	67

Lyhenneluettelo

ACR	<i>Absolute Category Rating</i> , äänenlaadun arviointi numeerisella asteikolla
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> , asymmetrinen digitaalinen tilaaja-johto
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> , vakiomittaisiin soluihin (53 tavua) perustuva tiedonsiirtotekniikka
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> , tietoliikenneprotokolla, jonka avulla päätelaitteet voivat automatisoidusti pyytää IP-osoitteensa dhcp-palvelimelta.
DMZ	<i>Demilitarized Zone</i> , palomuurin suojaaman verkon osa, joka on eristetty varsinaisesta lähiverkosta.
DoS	<i>Denial of Service</i> , palvelunestohyökkäys
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i> , digitaalinen tilaajajohto
EIA	<i>Electronic Industries Association</i> , yhdysvaltalainen elektroniikka-teollisuuden järjestö
Ethernet	Lähiverkkotekniikka
GoB	<i>Good or Better</i> , puheenlaadun arviointitermi
H.245	Puhelunohjausprotokolla
H.323	ITU-T:n kansainvälinen video- ja audioneuvottelustandardi
IP	<i>Internet Protocol</i> , Internetin verkkokerroksen protokolla
ITU	Yhdistyneiden Kansakuntien alainen kansainvälinen tietoliikennealan järjestö. ITU-T vastaa televiestintäalan standardoinnista.
MGCP	<i>Media Gateway Control Protocol</i> , protokolla yhdyskäytävien ohjaukseen
MPK	<i>Merlinin Palvelukeskus</i>
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i> , leimakytkentäpohjainen siirtomuoto
NPV	<i>Net Present Value</i> , nettonykyarvo
PBX	<i>Private Branch Exchange</i> , yrityksen puhelinvaihte
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i> , pulssikoodimodulaatio, puhelinverkoissa käytetty 64kbps puheen koodausmenetelmä
POTS	<i>Plain Old Telephone Service</i> , yleinen (analoginen) puhelinverkko
PoW	<i>Poor or Worse</i> , puheenlaadun arviointitermi

PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> , perinteinen piirikytkentäinen puhelinverkko
QoS	<i>Quality of Service</i> , palvelunlaatu tietoverkoissa
RTP	<i>Real Time Protocol</i> , tosiaika-sovelluksissa käytetty tiedonsiirto-protokolla
SDSL	<i>Single-Line Digital Subscriber Line</i> , digitaalinen tilaajajohto
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i> , sovelluskerroksen signaalointi-protokolla
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> , IP-verkon kuljetuskerroksen luotettava yhteysprotokolla
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i> , yhdysvaltalainen telekommunikaatioalan järjestö
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> , IP-verkon kuljetuskerroksen tietosäike-protokolla
USB	<i>Universal Serial Bus</i> , sarjamuotoinen liitin
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i> , puheen välittäminen IP-pohjaista tietoverkkoa hyväksikäyttäen
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i> , langattomassa lähiverkossa suojauksessa käytetty tekniikka
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

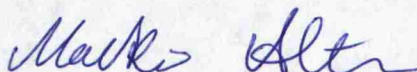
Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Kapiteeli Oy:lle osana yrityksen VoIP-projektia. Haluan kiittää esimiestäni Riitta Parviaista hänen antamastaan mahdollisuudesta tehdä työtä tämän erittäin mielenkiintoisen ja ajankohtaisen aiheen parissa. Työn ohjaajana Kapiteelilla toimi Sari Lehtonen, jolle haluan antaa suuret kiitokset hyvistä ideoista ja kommentteista työni edetessä. Lisäksi suuret kiitokset jokaiselle projektiin osallistuneelle työkaverille.

Diplomityöni valvojalle professori Raimo Kantolalle haluan osoittaa kiitokseni asiantuntevista kommentteista ja ohjeista, joita olen saanut työni aikana paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.

Lämmin kiitos myös vanhemmilleni Manulle ja Ritvalle heiltä saamastani tuesta ja kannustuksesta koko opiskeluni aikana. Ennen kaikkea suuret kiitokset kihlatulleni Sannalle yhteisistä hetkistä, kannustuksesta ja tuesta opiskeluni ja tämän työn aikana.

Helsingissä 4.2.2003



Marko Altonen

1 Johdanto

Aivan näihin päiviin asti data- ja ääniverkot on pidetty toisistaan erillään. Tämä kahtiajako on kuitenkin muuttumassa, sillä lisääntynyttä datansiirtoa varten rakennetut tietoliikenneverkot ja tämän päivän toimistotietokoneet multimediaominaisuuksineen mahdollistavat sekä äänen että datan siirtämisen samassa verkossa. Tämä muutos on jo alkanut etenkin suurten yritysten puhelinkeskuksissa, mutta on mahdotonta ennustaa millä aikataululla ja kuinka laajalti nämä kaksi verkkoa yhdistyvät. Näiden kahden verkon yhdistyminen ei ole aivan mutkatonta, sillä äänen ja datan vaatimukset tosiaikaisuudesta ja suhtautuminen uudelleenlähetyksiin ovat aivan erilaiset.

Tietokoneharrastajien keskuudessa tietoverkkojen välityksellä tehtävät puhelut ovat olleet arkipäivää jo useiden vuosien ajan. Tällä tavalla on voitu pitää yhteyttä hyvinkin kaukana asuviin ystäviin, esimerkiksi niihin, jotka asuvat ulkomailla. Näissä tapauksissa yhteyksien katkeamiset, viiveet ja rapinat puheäänessä ovat olleet hyväksyttäviä, sillä ”ilmaiselle” puhelinyhteydelle ei useinkaan aseteta korkeita laatuvaatimuksia.

Yritysmaailmalle ei voida kuitenkaan tarjota vastaavaa palvelua yhtä löysillä laatuvaatimuksilla. IP-puhelinpalveluiden odotetaan yltävän äänenlaadultaan lähes samalle tasolle kuin perinteisten puhelinpalveluiden. Ottaen huomioon kahden verkon yhdistämisestä aiheutuvat ongelmat yrityksen ei edes kannata harkita puheen siirtämistä tietoverkkoon ellei samalla saada monipuolisempia palveluita ja ellei niiden käyttöönotto ole helpompaa ja nopeampaa.

Tämä diplomityö keskittyy selvittämään tietoverkkoja hyväksi käyttävän puhelinpalvelun käyttöönoton mielekkyyttä eri näkökulmista. Taustakirjallisuuden sekä tehtyjen mittausten, haastatteluiden ja kyselyiden pohjalta saatujen kokemusten perusteella pyrin selvittämään IP-pohjaisen puhelinratkaisun turvallisuutta, taloudellisuutta, puheenlaatua ja merkitystä liiketoiminnan kannalta. Näiden lisäksi tarkastelen yrityksen tietoverkon muutoksia sekä eri vaiheita, jotka liittyvät IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönottoon.

1.1 Taustaa

Vaikka puheen siirtämistä tietoverkoissa onkin tutkittu jo 1970-luvun lopulta lähtien, ei kaupallisia IP-pohjaisia puhelinratkaisuja ole kehitetty ennen 1990-luvun puoliväliä. Nämäkin puhelinratkaisut kehitettiin alun perin palvelemaan yrityksen puhelinpalvelukeskuksia ja puhelunvälitystä. Ne ovatkin olleet ensimmäisiä uuden puhelintekniikan käyttäjiä. Sen sijaan ajatus siitä, että koko yritys ottaisi käyttöön IP-pohjaiset puhelimet on ollut sängen utopistinen aina viime aikoihin asti. Nyt tämänkin vaihtoehdon potentiaali on havaittu ja uutta puhelinteknologiaa on ryhdytty tarjoamaan yritystasolla.

Tämän diplomityön aihe on ajankohtainen, sillä IP-pohjaisen puhelinratkaisun käyttöönotto yritystasolla on vasta alkamassa, eikä asian merkitystä yrityksille ole juurikaan tutkittu. Opinnäytteen tarkoituksena on nimenomaan tuoda yrityksille ja asian parissa työskenteleville käytännöllistä arvoa. Työ on tehty Kapiteeli Oy:lle, jota tässä diplomityössä käytetään esimerkkinä kuvaamaan asioita käytännön tasolla. Työssä pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Millaisia muutoksia tietoverkkoon tarvitaan uuden järjestelmän käyttöönottamiseksi?
2. Mikä on uuden puhelinjärjestelmän tietoturvallisuus ja miten sitä voidaan parantaa?
3. Miten IP-pohjaisen puhelinratkaisun käyttöönotto vaikuttaa yrityksen liiketoimintaan?
4. Kuinka laadukasta puhetta tietoverkoissa pystytään välittämään?
5. Mitkä ovat IP-puhelinratkaisun käyttöönoton vaiheet ja toimenpiteet kussakin vaiheessa?

1.2 Tavoite

Tämän opinnäytteen tavoitteena on tutkimusaihetta koskeviin kysymyksiin vastaaminen mittausten, kirjallisuuskatsauksen, haastattelujen ja kyselyiden sekä käyttöönotto-projektin eri vaiheista saatujen kokemusten avulla. Keskityn erityisesti selvittämään mitä muutoksia käyttöönotto aiheuttaa tietoverkkoon ja sen turvallisuuteen sekä

minkälaisia vaikutuksia käyttöönotolla on yrityksen liiketoimintaan. Pyrin lisäksi arvioimaan mittausten perusteella IP-pohjaisen puheratkaisun äänenlaatua.

1.3 Työn rakenne

Toisessa luvussa käsitellään IP-pohjaiseen puheenvälitykseen liittyvää peruskäsitteistöä äänenlaadun, protokollien sekä puhelin- ja dataverkkojen yhdistämiseen käytettävien tekniikoiden osalta. Kolmannessa luvussa käsitellään Kapiteelin vanhan puhelinjärjestelmän ongelmia, tietoliikenneverkkoihin tehtäviä muutoksia sekä tietoverkkojen turvallisuutta puheen välittämisessä. Neljännessä luvussa keskitytään IP-pohjaisen puheratkaisun vaikutuksiin yrityksen liiketoiminnassa. Luvussa käsitellään myös hankkeen taloudellisuutta: vertaillaan uutta ja vanhaa järjestelmää sekä lasketaan käyttöönottoprojektin takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo. Viidennessä luvussa keskitytään IP-puheen äänenlaatuun ja kuudennessa luvussa käydään läpi käyttöönottoprojektin vaiheita. Lopuksi seitsemännessä luvussa analysoidaan ja vertaillaan saatuja tuloksia.

2 Keskeisten tekniikoiden kuvaus

2.1 Puhe IP-verkossa

VoIP (Voice over IP) on pakettimuotoisen puheen välittämistä tietoverkoissa käyttäen hyväksi Internet protokollaa. Puheen välittäminen tietoverkoissa ei ole mikään uusi keksintö, mutta viime aikoina sen käyttö on lisääntynyt lähes samaa tahtia kuin Internet on levinnyt. Eteenkin kaukopuheluoperaattorit välittävät puhetta tietoverkoissa ja voivat tällä tavalla tarjota halvempia kaukopuheluja. Syy VoIP:n voimakkaasti lisääntyneeseen suosioon on varsin selvä: Puheen välittämiseen tietoverkoissa ei tarvita erityislaitteistoja, vaan se voidaan tehdä tavallisella pöytämikrolla, mikrofonilla ja kaiuttimilla. Nämä kaikki laitteet ovat jo perusvarustelua nykyisissä multimediakokoonpanoissa ja puheluiden tekemiseen vaadittavia ohjelmistojakin on saatavilla ilmaiseksi.

Ensisilmäyksellä ajatus puheen kuljettamisesta tietoverkoissa kuulostaa huonolta idealta. Miksi vaihtaa täysin toimiva lankapuhelinjärjestelmä toiseen? VoIP mahdollistaa kuitenkin asioita, joiden toteuttaminen perinteisillä puhelinjärjestelmillä olisi hankalaa. Näitä ovat parempi puhelunkäsittelylogiikka, muiden ohjelmistojen integroimismahdollisuus puhelimeen, paikkariippumattomuus sekä nopeampi mittaus ja raportointi. On myös muistettava, että nykyiset yritysten tietoverkot ovat erittäin hyvässä kunnossa, joten puheen välittäminen näissä verkoissa ei juurikaan rasita niitä.

Yrityskäytössä VoIP-puhelut kulkevat joko kahden IP-puhelimen välillä tai IP-puhelimen ja perinteisen puhelimen välillä. Ensimmäisessä tapauksessa molemmilla puhelun osapuolilla on käytössään työasema, joka on VoIP-valmiudessa. Tämän kaltaiset puhelut syntyvät lähinnä soittaessa yrityksen sisäisiä puheluita. Toisessa tapauksessa ensimmäisellä osapuolella on käytössään IP-puhelin ja toisen puhelin käyttää PSTN/ISDN/GSM-puhelinverkkoa. Tällöin puhelu kulkee yhdyskäytävän läpi, joka muuntaa IP-puheen toiseen puhelinverkkoon sopivaan muotoon ja toisinpäin. Lisäksi yhdyskäytävä pitää huolen puhelun ohjauksesta molemmissa verkoissa (tästä lisää kappaleessa 2.4).

IP-puheluiden tekemiseen vaadittavan laitteiston pohjaksi soveltuu tavallinen toimistomikro. Koneessa tulee olla lisäksi äänikortti, mikrofoni ja kaiuttimet, joskin markkinoilla on tarjolla laaja valikoima myös tietokoneen USB-porttiin liitettäviä puhelinluureja. Suuri osa VoIP-käyttöön tarjolla olevista puhelinlaitteista on sankaluurien mallisia. Markkinoilta löytyy myös perinteistä luuria muistuttavia laitteita.

2.2 Äänenlaadun arviointi

Äänenlaadun arviointi on äärimmäisen tärkeää yhtiöille, jotka kehittävät kommunikointijärjestelmiä ja -tuotteita. Tätä varten on kehitetty MOS-malli (mean opinion score), jonka avulla saadaan tarkkoja ja yhtenäisiä tuloksia äänenlaadusta. Tutkittaessa MOS -arvoa koehenkilöt arvioivat kuulemaansa äänenlaatua numeerisella asteikolla yhdestä viiteen (Absolute Category Rating), jossa viisi tarkoittaa loistavaa äänenlaatua ja yksi huonoa äänenlaatua.

Perinteisesti MOS-arvoja on saatu hankkimalla yli 20 hengen joukko ihmisiä ja käyttämällä äänimateriaalina laadukkaita sekä miesten että naisten lausumia lauseita useilla kielillä. Kuultuaan ääninäytteen, koehenkilö merkitsee kokemansa äänenlaadun mittauspöytäkirjaan. Kuuntelijoille soitetaan riittävä määrä ääninäytteitä, jotta saataisiin tilastollisesti pitäviä tuloksia ja lopulta kaikkien kuulijoiden arvosanoista lasketaan keskiarvo ja saadaan MOS-arvo kullekin ääninäytteelle. Usein näillä kokeilla pyritään saamaan MOS-arvoja eri puhekoodekeille. MOS-arvojen lisäksi testeissä selviää, kuinka suuri osa koehenkilöistä kokee ääninäytteen ymmärtämisen vaikeaksi (ITU kuvaa tätä ”Poor or Worse”-asteikolla (PoW)) ja kuinka moni kokee ääninäytteen olevan laadukas (ITU kuvaa tätä ”Good or Better”-asteikolla (GoB)).

Tehtäessä MOS-mittauksia on huomattava, että saadut tulokset ovat subjektiivisia. Toisin sanoen tulokset ovat riippuvaisia koehenkilöstä, ajankohdasta ja mittauspaikasta. Usein tulokset vaihtelevat testiryhmästä riippuen. Toinen kuuntelijajoukko voi saada jollekin ääninäytteelle MOS-arvon 4.1, kun taas toinen testiryhmä arvostelee saman näytteen arvosanalla 3.9. Samalla testitulos voi riippua myös testipaikasta. Sama testiryhmä voi saada samalle näytteelle eri MOS-arvon riippuen siitä, missä testi

suoritetaan. Tunnetut testilaboratoriot tuntevat kuitenkin tämän ilmiön ja osaavat minimoida sen vaikutuksia. [1], [2]

Kuuntelumittausten kalleuden ja hitauden sekä vaihteluja aiheuttavien osatekijöiden johdosta Kansainvälinen televiestintäliitto (ITU) onkin kehittänyt menetelmiä arvioida puheenlaatua laskennallisesti (G.107, kappale 2.2.2). Tätä niin kutsuttua E-mallia on kehitetty myös Internet-puhelintekniikka silmällä pitäen. E-mallin tuloksena saadaan ns. R-arvo. R-arvo on merkittävä sen takia, että se voidaan laskea tosiaikaisesti saaduista tuloksista ja se on toistettavissa. R-arvo voidaan tuloksien saamisen jälkeen muuntaa helposti ja tarkasti MOS-arvoksi.

Ajatuksena on aloittaa R-arvon laskenta täydellisestä tuloksesta (100) ja sen jälkeen tehdä siitä vähennyksiä, joita syntyy esimerkiksi laitteistoista. Lopulta vähennysten jälkeen saadaan lopullinen R-arvo, josta voidaan myös laskea MOS. R-arvoa laskevia komponentteja on varsin paljon, kuten puheen koodaustekniikka, viiveet tiedonsiirtoverkossa sekä hukkuneet paketit. Seuraavat kappaleet kertovat näistä ongelmista tarkemmin. [3]

2.2.1 Subjektiivinen äänenlaadun mitta

P.800 on ITU-T:n suositus, joka kuvaa menetelmiä suorittaa subjektiivisia arviointeja puheenvälityksen järjestelmien tai komponenttien laadusta. Modernit televerkot tarjoavat laajan valikoiman äänipalveluja käyttäen useita eri lähetyjärjestelmiä. Etenkin digitaalitekniikan mukaantulo on johtanut tarpeeseen analysoida uuden lähetystekniikan erityispiirteitä.

Tämä kyseinen suositus sisältää ohjeita tutkijoille, jotta he voisivat suorittaa subjektiivisia testejä lähetyksen laadusta omissa laboratorioissaan. Suosituksen sisältämät menetelmät ovat tarkoitettuja soveltumaan jokaiseen tilanteeseen, jossa äänenlaatu kärsii. Äänenlaatuun vaikuttavat heikentävästi esimerkiksi seuraavat tekijät: tiedon hukkuminen, kohina siirtotiessä ja ympäristössä, lähetysvirheet, kaikuminen, puheen koodaus, viiveet ja heikkolaatuiset kovaääniset. Puhelinjärjestelmien ja -laitteiden subjektiivinen arviointi voidaan periaatteessa suorittaa kahdella eri tavalla, joko kuuntelukokeella tai keskustelukokeella. Todellisuudessa kuuntelukokeita pidetään ainoana uskottavana menetelmänä suorittaa näitä kokeita.

Laboratoriossa suoritettavilla keskustelukokeilla pyritään mallintamaan niin pitkälle kuin mahdollista tilanteita, jotka syntyvät todellisissa palvelutilanteissa, kun asiakas soittaa puhelimitse. On äärimmäisen tärkeää, että keskustelukokeessa vallitsevat olosuhteet määritellään ja kirjataan ylös täsmällisesti, selkeästi ja riittävällä tarkkuudella. On myös todennettava, että todellinen tilanne vastaa suunniteltua ja että olosuhteet tarkistetaan sekä testin alku että loppuvaiheessa. Keskustelukokeesta on myös syytä ottaa tallenne jälkitarkastelua varten.

Kuuntelukokeilla ei pyritä vastaavanlaiseen realismiin kuin keskustelukokeissa, joten kuuntelukokeiden suorittamisessa on periaatteessa vähemmän rajoitteita.

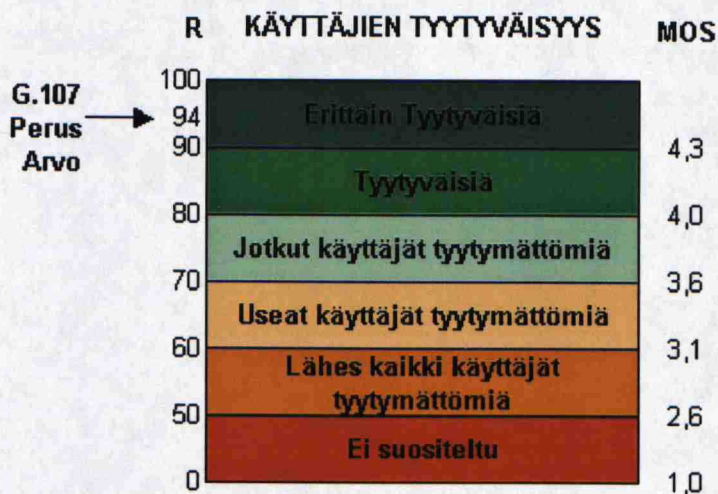
Keinotekoisuus, joka johtuu keskustelun puuttumisesta johtaa tosin siihen, että useita asioita on kontrolloitava erittäin tarkkaan. Suositeltu menetelmä kuuntelukokeiden suorittamiseen on ns. ”Absolute Category Rating”, jota kuvailtiin jo edellisen kappaleen alussa. Toisin sanoen kuuntelijat arvostelevat kuulemansa ääninäytteet asteikolla 1-5. Tämä menetelmä on hyvin vakiintunut ja sitä on käytetty analogia- ja digitaalipuhelintekniikkaan sekä teleteknisiin laitteisiin, kuten äänikoodekkeihin. Kun äänikoodekkeja (käsitellään kappaleessa 2.2.3) kehitellään, useat laboratoriot ympäri maailman käyttävät kuuntelukokeita näiden arviointiin. Näiden kokeiden pohjalta saadaan määriteltäviä eri koodekkien vaikutukset puheenlaatuun. [4]

2.2.2 E-malli

ITU-T:n suositus G.107, joka tunnetaan nimellä E-malli on puheluiden lähetystekniikan suunnittelutyökalu, jolla saadaan arvioitua käyttäjien tyytyväisyyttä puheluiden laatuun kapeakaistaisella siirtotiellä (3.1 kHz). E-mallia käytetäänkin nimenomaan varmistamaan, että loppukäyttäjä on tyytyväinen äänenlaatuun ja tällä tavoin välttyään ylisuunnittelulta (esimerkiksi äänikoodekkia ei suunnitella pakkaamaan yltiöpäisesti ääntä). E-mallia on lisäksi kuvailtu asiantuntijoiden kesken monipuoliseksi työkaluksi, kun arvioidaan IP-pohjaisen puhelintekniikan äänenlaatua heikentäviä komponentteja.

E-mallin tuloksena saadaan muuttuja, jota kutsutaan R-arvoksi (esitetään myös pelkällä R-kirjaimella). R-arvon asteikko on 0-100, joskin arvoja jotka ovat alle 50 pidetään mahdottomina hyväksyä huonon äänenlaadun takia. Tämän lisäksi kapeakaistaisella (taajuuskaista 3.1 kHz) puhelintekniikalla on mahdotonta saavuttaa suurempia arvoja

kuin 94,15. Tätä asteikkoa on esitelty kuvassa 1. Kuvan käyttäjien tyytyväisyysryhmät on määritelty suosituksessa G.109.



Kuva 1. R-arvon ja käyttäjien tyytyväisyyden vastaavuus

On tärkeää huomata ero E-mallin objektiivisten tulosten ja subjektiivisten tutkimusten tulosten välillä, jotka ilmaistaan käyttäen joko MOS, GoB tai PoW asteikkoja. Subjektiivisissa mittauksissa saadut tulokset voivat vaihdella, vaikka olosuhteet olisivatkin samat, riippuen mittauksiin vaikuttavien komponenttien lukumäärästä jne.

E-mallin tulokset ovat laskettu käyttäen rappioitumisosatekijä-metodia, jossa rappioitumisosatekijät (pakettihukka, kaiku, viive, kohina jne.) lasketaan yhteen lopullisen äänenlaatua kuvaavan R-arvon saamiseksi. Tämä menetelmä on objektiivinen ja toistettavissa milloin vain. E-mallista keskusteltaessa olisikin syytä puhua pelkästään R-arvosta, vaikka se onkin helposti muunnettavissa MOS, GoB ja PoW asteikkoihin.

E-malli koostuu useasta mallista, jotka ottavat huomioon erillisiä rappioitumistekijöitä ja niiden vaikutuksia lopulliseen suoritussykyyn. Lopullinen suoritussyky saadaan selville, kun kaikki nämä mallit otetaan huomioon. R-arvon laskemiseksi käytetään seuraavaa kaavaa:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

jossa,

- R_o on perus signaali-kohinasuhde, joka perustuu lähetetyn ja vastaanotetun signaalin voimakkuuteen, johtimiin ja kohinoihin.
- I_s kuvaa äänen lähettämisestä aiheutuvaa rappioitumista
- I_d kuvaa viiveistä ja kaiuista aiheutuvaa puheen rappioitumista
- I_e kuvaa laitteistosta aiheutuvaa puheen rappioitumista, kuten koodekkeja
- A on hyötytekijä, joka nostaa lopullisen R :n arvoa. Näihin lasketaan esimerkiksi satelliittipuhelut

R -arvon vertaaminen suoraan käyttäjien tyytyväisyyteen on usein varsin hankalaa. Tämän takia se muunnetaan usein MOS-arvoksi. Muuntaminen tehdään seuraavan kaavan mukaisesti:

$$MOS = 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R) * 7e-6 \quad (2)$$

MOS-arvon lisäksi E-malli tarjoaa myös muita tapoja tilastolliseen puheenlaadun arvioimiseen. Käyttäjien prosentuaalinen arvio puheenlaadusta (Good or Better tai Poor or Worse) pystytään laskemaan R -arvosta käyttäen hyväksi Gaussin virhefunktia:

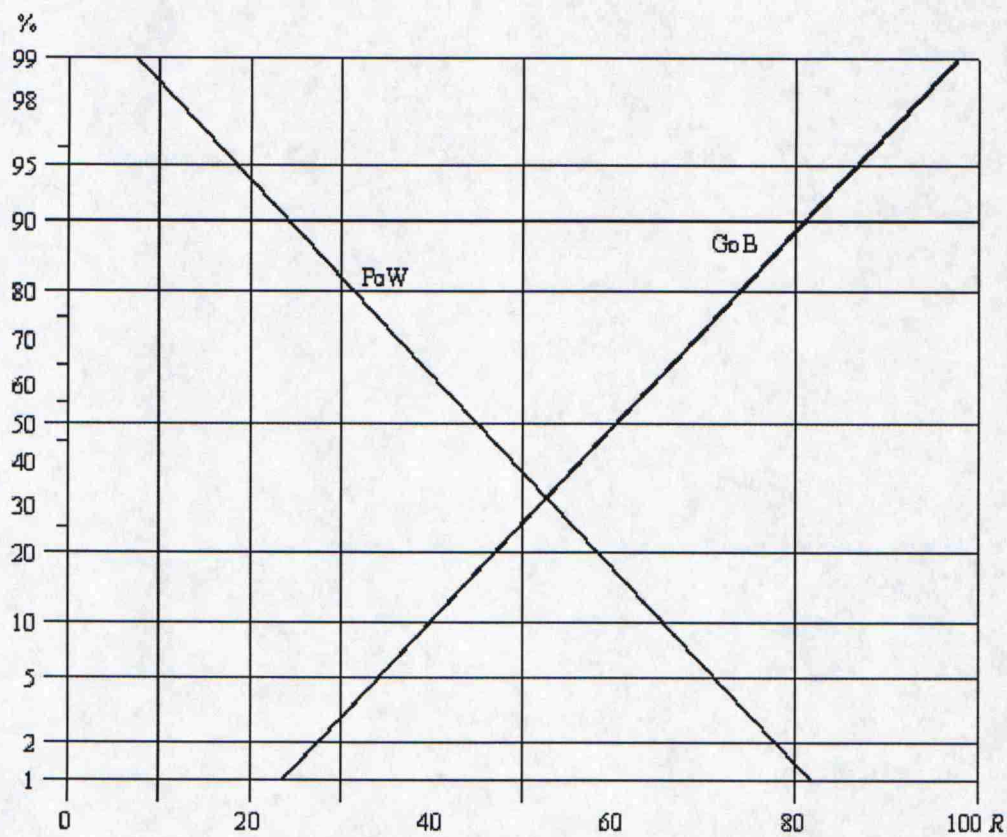
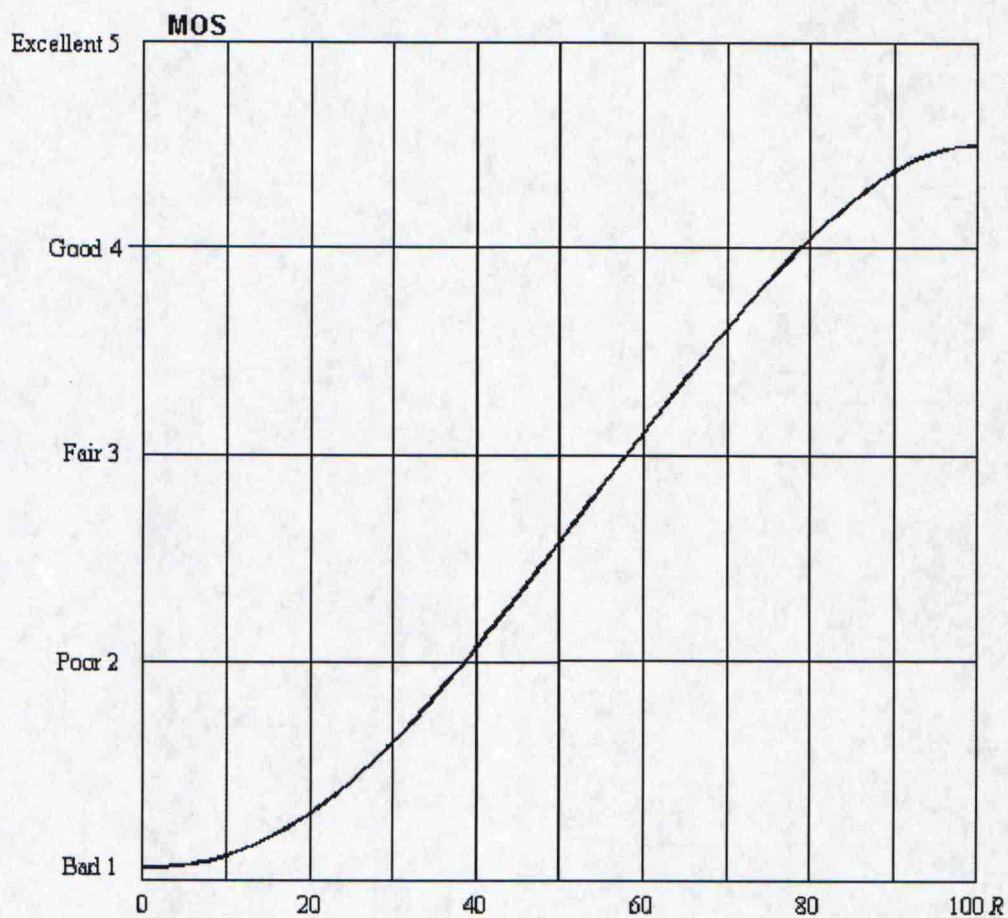
$$E(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3)$$

Kaavat GoB:n ja PoW:n laskemiseksi ovat:

$$GoB = 100E\left(\frac{R - 60}{16}\right)\% \quad (4)$$

$$PoW = 100E\left(\frac{45 - R}{16}\right)\% \quad (5)$$

Kuvassa 2 voimme nähdä MOS-arvon sekä GoB- ja PoW-arvojen suhteen R -arvoon graafisessa muodossa [5].



Kuva 2. MOS, GoB ja PoW R-arvon funktiona

E-mallin vahvuuksiin voidaan lukea se, että sillä pystytään helposti arvioimaan IP-puhelintekniikalle tyypillisiä rappioitumiskomponentteja kuten puheen pakkaamista, viivettä ja pakettihukkaa. [5], [6]

2.2.3 Puheen koodaaminen

Puheen koodaamisessa äänisignaali muunnetaan digitaaliseen muotoon. Yksinkertaisimmillaan tämä voidaan suorittaa tavallisessa puhelinverkossa, jossa näytteistetty taajuuskaista on 4 kHz, ottamalla näytteitä Nyquistin näytteenottoteorian mukaan kaksinkertaisella näytteenottotaajuudella eli 8kHz. Tavallisessa puhelinverkossa nämä näytteet koodataan 8 bitillä, joten tiedonsiirtonopeudeksi saadaan 64kbit/s (vertaa PCM, ITU G.711) [7]. Joissakin tapauksissa olisi kuitenkin edullisempaa koodata puhe siten, että sen lähettämiseen ei tarvittaisi yhtä monta bittiä kuin äskeisessä esimerkissä. Hyvänä esimerkkinä tästä voidaan pitää satelliittipuheluja, joiden kautta puhelun tekeminen on hyvin kallista, ja mikäli samalle siirtokaistalle voidaan saada useampi puhelu tuo se selviää säästöjä. Puheen koodaamisella onkin ollut selkeitä tavoitteita [8]:

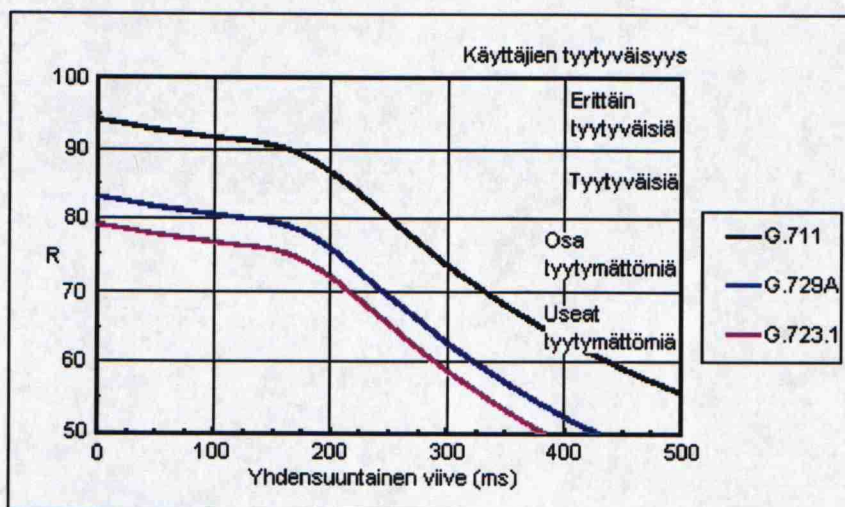
- Bittinopeuden pienentäminen
- Äänenlaadun parantaminen
- Virheistä toipumisen parantaminen ja virheensietokyky

Yhä nopeammat ja nopeammat tietokoneet ovat mahdollistaneet uusien, yhä vähemmän siirtokaistaa vaativien koodekkien kehittämisen. Uusilla koodausmenetelmillä koodattua puhetta saadaankin samalle siirtotielle nykyään jo moninkertainen määrä perinteiseen PCM-koodattuun puheeseen verrattuna. Usein bittinopeuden pienentäminen vaikuttaa kuitenkin äänenlaatuun. E-mallin ainutlaatuisiin ominaisuuksiin kuuluu sen joustavuus käsitellä IP puhelintekniikan rappeutumistekijöitä kuten puheen koodaamista parametrin I_e kautta. ITU-T:n suosituksessa G.113 on lueteltu useiden puhekoodekkien I_e arvot. Osa näistä on esitetty taulukossa 1. On huomattava, että nämä arvot saattavat muuttua, sillä uusia subjektiivisia kokeita näiden I_e -arvojen saamiseksi tehdään sitä mukaa, kun laitteistot ja ohjelmistot niiden tekemiseen paranevat. [9]

Suositus	Koodaus	Bittinopeus kbit/s	Ie:n arvo
G.711	PCM	64	0
G.723.1	ACELP	5,3	19
	MP-MLQ	6,3	15
G.728	LD-CELP	16	7
		12,8	20
G.729	CS-ACELP	8	10
G.729A		8	11

Taulukko 1. Eri puhekoodekkien vaikutus äänenlaatuun

Kuten kappaleessa 2.2.2 mainittiin, Ie:n arvo vähennetään R-arvosta kuvaten loppukäyttäjän tyytymättömyyttä häiriötekijöihin. Kuva 3 havainnollistaa loppukäyttäjän tyytyväisyyttä parhaassa tapauksessa eri puheenkoodausmenetelmillä, jotka ovat suositujia IP-puhelintekniikassa. Kuvasta on havaittavissa, että puhetta pakattaessa (G.723.1 ja G.729A) Ie:n arvo kasvaa ja samalla viiveen sietokyky vähenee.



Kuva 3. Puheen pakkaamisen vaikutus äänenlaatuun.

Sopivan koodekin valinta sovellukseen on hankala tehtävä. Valintaa tehtäessä on otettava huomioon äänenlaatu, virheensietokyky, mahdollisuus konferenssipuheluihin, tehokkuus, ääninäytteen koko, viive ja niin edelleen. Mikäli siirtokaistaa on käytettävissä rajoitetusti, muodostuu koodekin käyttämästä bittinopeudesta kriittinen tekijä. Nopeampien yhteyksien ollessa käytettävissä voidaan panostaa parempaan äänenlaatuun ja luotettavuuteen.

On huomattava, että puheen siirtämiseen vaadittava tiedonsiirtonopeus ei riipu pelkästään käytettävästä äänikoodekista. Puheliikenteen siirtämiseksi paketteihin on lisättävä eri protokollien otsikkokentät. Puheen siirtämiseksi IP-verkossa käytetään yleensä kyseisen protokollan lisäksi protokollia UDP ja RTP. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon OSI-mallin toisen kerroksen protokolla. Mikäli puhepaketteja lähetetään esimerkiksi jonkun yrityksen lähiverkossa, on laskelmiin otettava mukaan Ethernetin vaatimat kentät. Taulukossa 2 on lueteltu eri protokollien lisäämien tavujen määrä, ja taulukossa 3 on laskettu eri puhekoodekkien vaatimat todelliset tiedonsiirtonopeudet kolmen eri pakettikoon (ms) tapauksessa.

Otsikkotyyppi	Otsikon koko
RTP	12 tavua
UDP	8 tavua
IP	20 tavua
Ethernet	14 tavua
Ethernet CRC	4 tavua
YHTEENSÄ	58 tavua

Taulukko 2. Protokollien tuomat lisäykset pakettikokoon

	G.711			G.723.1 (ACELP)			G.729A		
Koodekin bittinopeus (kbps)	64	64	64	5,3	5,3	5,3	8	8	8
Puhepaketin koko (ms)	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Puhepaketin koko (bytes)	80	160	240	7	14	20	10	20	30
Lähetettävän paketin koko	138	218	298	65	72	78	68	78	88
Siirtokaistan tarve (kbps)	110,4	87,2	79,5	52,0	28,8	20,8	54,4	31,2	23,5

Taulukko 3. Puhekoodekkien vertailua ja bittinopeudet

Tarkastelemalla taulukkoa 3 huomaamme, että mikäli puhe pakataan 10 millisekunnin paketteihin, vaaditaan siirtokaistaa puheen koodaamisen menetelmästä riippumatta yli 50 kbps. Tämä tarkoittaa sitä, että edes nopeimmat perinteistä puhelinverkkoa käyttävät modeemit eivät pysty siirtämään puhetta vaaditulla nopeudella. Mikäli puhe pakataankin 30 millisekunnin paketteihin on ero puheen koodausmenetelmien välillä jo huomattava. Parhaiten puhetta pakkaavat koodekit mahdollistavat puheen siirtämisen jo liki 20 kbps siirtonopeudella. Tässä tapauksessa esimerkiksi G.723.1-puhekoodekilla koodattua puhetta voisi lähettää pakettiverkossa yli kolme kertaa enemmän kuin perinteisellä PCM-koodilla (G.711) koodattua puhetta.

Merkille pantavaa on myös hyötykuorman osuus lähetettävästä datasta. G.711-koodeilla hyötykuorman osuus on jokaisella esitetyllä puhepaketin koolla yli 50%, kun taas toisilla esitetyillä koodekeilla hyötykuorman määrä ei nouse missään käsitellyssä tapauksessa yli 40%. Alhaisimmillaan G.723.1-koodekin tapauksessa hyötykuorman osuus laskee alle 11%.

Otsikkokenttien kutistamiseksi on kehitetty useita menetelmiä. Yhtenä esimerkkinä näistä on Casnerin ja Jacobsonin kehittämä CRTP (Compressed RTP), joka mahdollistaa otsikkokenttien kutistamisen 40 tavusta jopa 2 tavuun. CRTP:n käyttöä rajoittaa kuitenkin sen heikko vikasietoisuus, sillä yhdenkin paketin hukkuminen aiheuttaa välittömästi useamman peräkkäisen paketin hukkumisen tahdistusongelmien takia. Tästä syystä CRTP ei sovellu kunnolla IP-pohjaisiin puheratkaisuihin. [10]

Otsikkokenttien kutistamisen lisäksi puhepakettien lähettämiseksi vaadittavaa tiedonsiirtonopeutta voidaan pienentää käyttämällä hiljaisuuden poisto (silence suppression) -tekniikkaa. Tällöin VoIP-terminaali asetetaan tarkkailemaan äänivirran aktiivisuutta. Mikäli äänivirrassa ei esiinny aktiivisuutta tietyn ajan kuluessa (tyypillisesti 250ms), hiljaisuutta sisältävät äänipaketit poistetaan. Tällä tavoin tarvittava tiedonsiirtokapasiteetti voi pienentyä jopa 40%. [11]

2.2.4 Viiveet

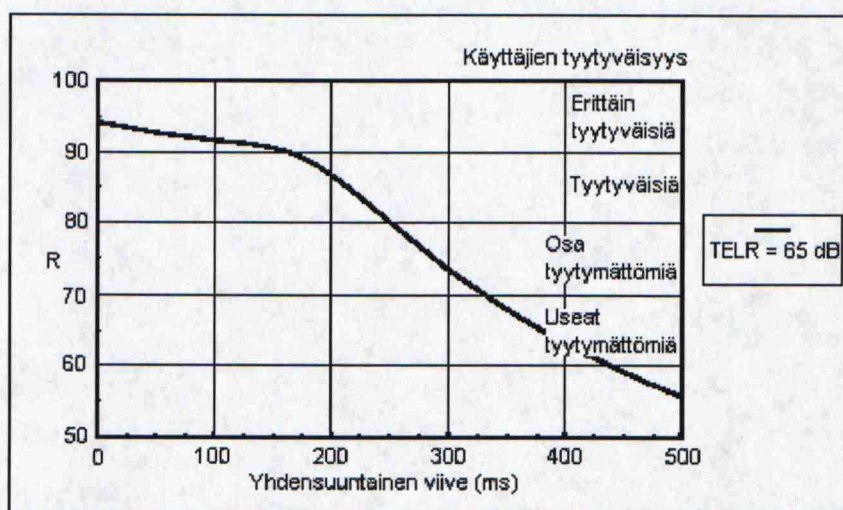
Puheen käsittelemisen ja siirtämisen luonteen suhteen pakettiverkko ja perinteinen puhelinverkko poikkeavat varsin paljon toisistaan. Tämä tuo esiin muutamia ongelmia pakettiverkon puolella siirrettävän äänen kohdalla ja suurin näistä ongelmista on viive. Pakettiverkoissa siirrettävään ääneen liittyvä viive voidaan jakaa karkeasti kolmeen komponenttiin, jotka ovat:

- Päätelaitteista aiheutuva viive
- Siirtoverkon aiheuttama viive
- Etenemisviive

Viive on merkittävä komponentti, kun puhutaan puhelinkeskustelun mukavuudesta. Perinteisessä puhelinverkossa viiveen maksimiarvo pyritään pitämään alle 150 millisekunnissa kansainvälisissä puhelinyhteyksissä [12]. Puhelinverkkoa

suunniteltaessa viive olisikin syytä ottaa huomioon heti alusta alkaen ja määritellä sille maksimiarvot. Yleisesti ottaen yhdensuuntainen viive pyritään mitoittamaan alle 150 millisekunnin.

Kuva 4 havainnollistaa viiveen vaikutusta puhelimen käyttäjien tyytyväisyyteen. Huomionarvoista kuvassa on selvä notkahdus käyttäjien tyytyväisyydessä, kun viive kasvaa yli 175 millisekunnin. Välillä 150 ja 200 millisekuntia viive alkaa vaikuttaa puhelinkeskustelun luonnollisuuteen. Jyrkempi käyttäjien tyytyväisyyden heikentyminen 175 millisekunnin pisteen jälkeen heijastaa juuri keskustelun muuttumista luonnottomaksi. Syy tähän on seuraava: keskusteltaessa kasvotusten kahden ihmisen puheenvuorojen välillä on noin 200 millisekunnin tauko, ennen kuin toinen alkaa jälleen puhua. Tätä ilmiötä kutsutaan puheen vuorotteluksi. Kun puhekanavan aiheuttama viive kasvaa puheen vuorottelutauon kanssa samalle tasolle keskustelun tahdistus katoaa ja normaalit keskustelun säännöt murenevat. Tällaisissa tapauksissa voi käydä niin, että toinen ihminen ryhtyy puhumaan ennen kuin toinen lopettaa puhumasta tai molemmat ryhtyvät puhumaan samanaikaisesti. Tämä aiheuttaa keskustelun katkeamisen. Mikäli toinen osapuoli dominoi keskustelua toisella voi olla vaikeuksia saada puheenvuoroa, sillä dominoiva osapuoli aloittaa puhumaan uudestaan ennen kuin tauko puheessa ehtii toiseen päähän.



Kuva 4. Viiveen vaikutus käyttäjien tyytyväisyyteen

Suuri viive puheen siirtotiessä voi myös vaikuttaa keskustelun sanomaan. Ihmisillä on tapana tulkita viiveitä puheessa avoimuuden, rehellisyyden ja luottamuksen eri

vivahteina. Liian pitkä viive kysymykseen vastattaessa voi ilmentää esimerkiksi epävarmuutta, vaikka viive johtuisikin puheen siirtotien aiheuttamista viiveistä. Seuraavissa kappaleissa käsitellään aikaisemmin luetteloituja viiveen aiheuttajia pakettiverkossa. [6]

2.2.4.1 Päätelaitteista aiheutuva viive

Päätelaitteissa syntyvä viive voidaan jakaa kahteen ryhmään - puheen koodauksesta aiheutuvaan viiveeseen ja eri tyyppisten puskureiden aiheuttamaan viiveeseen. Puheen koodauksen aiheuttama viive voidaan jakaa myös useisiin komponentteihin. Lähettäjän (puheen koodaajan) puolella tämä viive koostuu seuraavista komponenteista:

- Aika, joka menee kun kerätään kasaan puhekehystä
- Puhekehysten koodaamiseen kuluva aika
- Aika, joka kuluu kun kootaan kokonainen puhepaketti
- Ohjelmiston ja laitteiston aiheuttama viive

Tyypillisesti yhden puhepaketin kooksi valitaan jotain 10 ja 30 ms:n väliltä. Suurempi puhepaketti lisää viiveitä puheen koodauksessa, mutta vie vähemmän tiedonsiirto-kapasiteettia. Edellä mainittujen viivekomponenttien lisäksi jotkut puhekoodekit sisältävät toiminnon, jossa tarkastellaan myös ensimmäistä osaa seuraavasta puhepaketista. Tarkoituksena on kerätä tietoa puheen uudelleenrakentamista varten, mikäli puhepaketteja hukkuu.

ITU-T on kirjoittanut G.114-suosituksen puheen paketoinnista aiheutuvien viiveiden suunnitteluun. Mikäli useita puhekehysä kasataan yhteen suuremman puhepaketin muodostamiseksi, aiheuttaa se ylimääräistä viivettä. Tämän viive tulee olemaan vähintään yhden puhekehysten kokoinen jokaista puhepakettiin liitettyä puhekehystä kohden. Lisäksi oletetaan, että kunkin puhepaketin käsittelyyn kuluu yhden kehyksen pituuden verran aikaa. Tästä saadaan johdettua seuraavat G.114-suosituksen mukaiset kaavat koodekin aiheuttamien prosessointiviiveiden minimi- ja maksimiarvoille:

Paketoinnin minimiaika

$$\text{nopeilla siirtoyhteyksillä} = (N+1) * \text{kehysten koko (ms)} + D(\text{ms}) \quad (6)$$

Paketoinnin maksimiaiika

$$\text{hitailla siirtoyhteyksillä} = (2N+1) * \text{kehysen koko (ms)} + D(\text{ms}) \quad (7)$$

Edellä mainituissa kaavoissa N vastaa puhekehysten lukumäärää puhepaketissa ja D vastaa ohjelmista ja laitteista aiheutuvaa viivettä sekä mahdollista seuraavan paketin tarkkailuaikaa. Nopealla siirtoyhteydellä tarkoitetaan yhteyttä, jolla puhepaketin siirtämiseen kuluu mitätön määrä aikaa puhepaketin kokoon verrattuna. Asiaa on vielä havainnollistettu taulukossa 4. [6], [13]

Koodekki	Bittinopeus (kbit/s)	Kehyskoko (ms)	Look- ahead (ms)	Koodekin aiheuttama yhdensuuntainen keskimääräinen viive (ms)	
				Minimi	Maksimi
G.711 (PCM)	64	0,125	0	$(N + 1) \times 0,125$	$(2N + 1) \times 0,125$
G.723.1	5,3	30	7,5	$(N + 1) \times 30 + 7,5$	$(2N + 1) \times 30 + 7,5$
	6,3	30	7,5	$(N + 1) \times 30 + 7,5$	$(2N + 1) \times 30 + 7,5$
G.728	16	0,625	0	$(N + 1) \times 0,625$	$(2N + 1) \times 0,625$
	12,8	0,625	0	$(N + 1) \times 0,625$	$(2N + 1) \times 0,625$
G.729	8	10	5	$(N + 1) \times 10 + 5$	$(N + 1) \times 10 + 5$

Taulukko 4. Eri koodekkien aiheuttamat viiveet, kun puhepaketissa usea puhekehys

Vastaanottajan puolella viivettä syntyy puhepakettien purkamisesta ääninäytteiksi ja laitteistojen sekä ohjelmistojen viiveistä. Näiden lisäksi jotkut koodekit lisäävät viivettä, sillä ne sisältävät erilaisia pakettien hukkumisen varalle kehitettyjä algoritmeja.

Eräs pakettiverkkojen ongelmista on viiveen vaihtelu (jitter). Viiveen vaihtelun takia joudutaan vastaanottajan päässä käyttämään puskureita ja samalla kokonaisviive kasvaa. Ongelma korostuu silloin, kun tiedonsiirtokapasiteettia on niukasti tai datayhteydellä esiintyy lyhyitä, suurta siirtokapasiteettia vaativia purskeita. IP-puhelintekniikassa käytetyt puskurit viiveen vaihtelua varten ovat usein kooltaan puhepaketin kerrannaisia. Toisin sanoen puskurien koko on joko yhden tai useamman puhepaketin kokoinen. Yleensä viiveen vaihtelua varten käytetään puskureita, jotka ovat kooltaan kaksi kertaa puhepaketin kokoisia.

2.2.4.2 Siirtoverkon aiheuttama viive ja etenemisviive

Siirtoverkon aiheuttama viive koostuu siirtotiestä ja sen solmukohdista sekä pakettien siirtoaikojen vaihtelujen varalla käytetyistä vastaanottopuskureista. Siirtoaikojen vaihtelut ovat verrannollisia siirtotien nopeuteen, pakettien kokoon ja verkon kuormitukseen. Nopeilla tietoliikenneyhteyksillä viiveiden vaihtelut ovat huomattavasti pienempiä kuin hitailla yhteyksillä. Viiveiden vaihteluihin on varauduttu vastaanottopuskurein, mutta mikäli vaihtelut ovat hyvin suuria joudutaan paketteja tiputtamaan. Paras tapa vaikuttaa siirtoverkon aiheuttamaan viiveeseen onkin pyrkiä minimoimaan viiveen vaihtelu. Helpoiten tämä on tehtävissä lisäämällä tiedonsiirtokapasiteettia tai ottamalla käyttöön liikenteen prioriteettiluokkia.

Etenemisviive tietoverkossa on aivan vastaava kuin perinteisessä puhelinverkossa. Etenemisviive siirtoverkossa on esimerkiksi 1000 km matkalla noin 5 ms ja kukin solmukohta (esim. reititin) lisää viivettä laitteistosta riippuen noin 100 mikrosekuntia [8]. Suomen sisäisessä tietoliikenteessä päästäänkin helposti alle 30ms etenemisviiveen.

2.2.5 Pakettihukka

Pakettien hukkuminen on yksi tämän päivän tosiaikasovellusten ongelma. Ei ole ollenkaan tavatonta, että jopa 10% paketeista hukkuu tiedonsiirron aikana. Tavallinen Internetin käyttäjä ei tätä pakettien hukkumista kuitenkaan huomaa, sillä luotettava TCP-protokolla pitää huolen siitä, että hukkuneet paketit lähetetään uudestaan. Tosiikasovelluksissa pakettien uudelleenlähettäminen ei ole kuitenkaan mahdollista, sillä siihen ei ole aikaa ja toisaalta näiden sovellusten toteutukseen käytetään usein UDP protokollaa, joka ei tue uudelleenlähetystä.

IP puhelintekniikassa puhepaketti luokitellaan hukkuneeksi, kun sen toistamisajankohta ohitetaan. Alle 40 ms puuttuvaa ääntä voidaan helposti korvata käytössä olevilla algoritmeilla, mutta mikäli ääntä puuttuu yli 40 ms voidaan se kuulla puheen katkeamisena. Pakettien hukkumisen vaikutus puheen ymmärrettävyyteen on riippuvainen äänikatkoksen pituuden lisäksi myös puhepakettien koosta. Optimaaliseksi pakettikooksi onkin subjektiivisten kuuntelukokeiden perusteella määritelty 16-32 ms. Puuttuvien pakettien aiheuttamien ”äänikuoppien” varalle on kehitelty useita korjaavia menetelmiä [7]:

- ⇒ Korvataan puuttuvat paketit hiljaisuudella
- ⇒ Korvataan puuttuvat paketit kohinalla
- ⇒ Kompensoidaan puuttuvat paketit interpoloimalla
- ⇒ Korvataan puuttuva paketti edellisellä puhepaketilla
- ⇒ Pyritään korvaamaan puuttuva ääninäyte tutkimalla edellisiä äänipaketteja ja etsimällä toistuvia kuvioita puheessa
- ⇒ Toistetaan edellisessä paketissa esiintynyt äänenkorkeus

Puheen ymmärrettävyyteen vaikuttaa myös pakettien hukkumisen prosentuaalinen todennäköisyys. Perinteisessä puhelinverkossa suoritetuissa kokeissa jo yli 1% puhepakettien häviämismahdollisuus koetaan merkittävänä puheenlaadun heikentymisenä.

2.2.6 Tiedonsiirtokapasiteetti

Tiedonsiirtokapasiteetilla kuvataan suurinta mahdollista tiedonsiirtonopeutta kyseessä olevalla siirtotiellä. Rajoittavana tekijänä ei ole pelkästään verkon fyysinen rakenne, joka määrittelee katon siirtokapasiteetille, vaan myös muut vuot, jotka jakavat samoja verkon komponentteja. Tiedonsiirtokapasiteetti määrittelee sen kuinka nopeasti yksi äänipaketti kulkee kyseisellä siirtotiellä. Esimerkiksi 256 kbps siirtotiellä yhden puhepaketin lähettämiseen menee lähes kymmenen kertaa enemmän aikaa kuin 2 Mbps siirtotiellä. [14]

Tiedonsiirtokapasiteetti luo myös selkeät raamit sille, kuinka monta puhekanavaa sille voidaan tarjota. Vaikka 256 kbps siirtotielle voitaisiin periaatteessa tarjota jopa 10 kappaletta G.729a -koodekilla pakattua puhekanavaa, on järkevää jättää varaa myös muulle tietoliikenteelle ja samalla pyrkiä välttämään puhepakettien hukkumista. Mikäli siirtotie on usein ruuhkainen ja on olemassa selkeitä merkkejä siitä, että puhepaketteja saattaisi hukkua on syytä miettiä vaihtoehtoisia keinoja, joilla puheliikenne saadaan luotettavasti kuljetettua muun datan kanssa. Eräs keino tähän on ryhtyä luokittelemaan liikennettä. Voidaan esimerkiksi varata 20% tiedonsiirtokapasiteetista vain UDP liikenteelle. Tällä tavoin varmistetaan, että tavanomainen Internetin käyttö ei vaaranna puheliikennettä.

2.3 Protokollat IP-puheensiirrossa

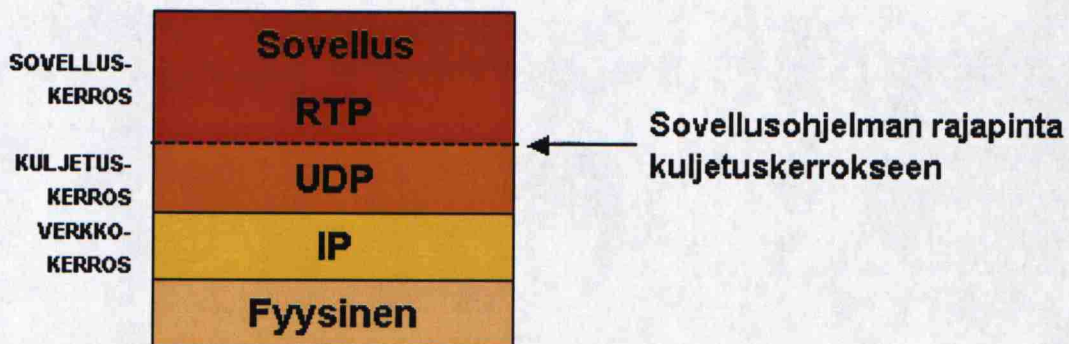
2.3.1 UDP

UDP on kuljetuskerroksen protokolla, joka on yhteydetön, kevyt ja epäluotettava.

Yhteydettömyys johtaa siihen, että kuittauksia ei tarvita. Samalla säästytään yhteyksien muodostamiselta ja purkamiselta. Epäluotettavuus on seurausta siitä, että UDP ei käytä virheenkorjausta. UDP:tä käytetäänkin sellaisissa sovelluksissa, jotka itse huolehtivat virheenkorjauksesta ja jotka tiedostavat sen, että paketteja saattaa hukkua. [15]

2.3.2 RTP

RTP on sovelluskerroksen protokolla, joka on tarkoitettu sisällytettäväksi suoraan sovellukseen. Se tarjoaa tosiaikaiselle datalle, kuten äänelle ja videolle päästä päähän -yhteyden verkkokerroksella. RTP:n palvelut sisältävät datatyypin tunnistuksen, järjestysnumeroinnin, aikaleimauksen sekä lähetyksen monitoroinnin. RTP:tä käytetään usein UDP:n kanssa, koska UDP sisältää multipleksauksen ja virhesumman laskemisen paketeille, mutta RTP:n kanssa on mahdollista käyttää myös muita kuljetuskerroksen protokollia (kuva 5).



Kuva 5. Protokollapino multimediasovellukselle, joka käyttää RTP:tä

On huomattava, että RTP ei takaa pakettien saapumista ajoissa tai oikeassa järjestyksessä eikä anna mitään muitakaan laatutakeita. RTP paketeissa olevien järjestysnumeroiden perusteella vastaanottaja voi järjestää paketit oikeaan järjestykseen ja vastaanottopuskureilla voidaan korjata vaihtelevasta siirtoviiveestä aiheutuvia vääristymiä toistossa. Mikäli jokin paketti viipyy siirtotiellä liian kauan, se hylätään.

Hylkääminen on seurausta siitä, että reaaliaikaisissa palveluissa ei ole aikaa lähettää paketteja uudestaan, sillä muuten kokonaisviiveet kasvaisivat liian suuriksi. [16]

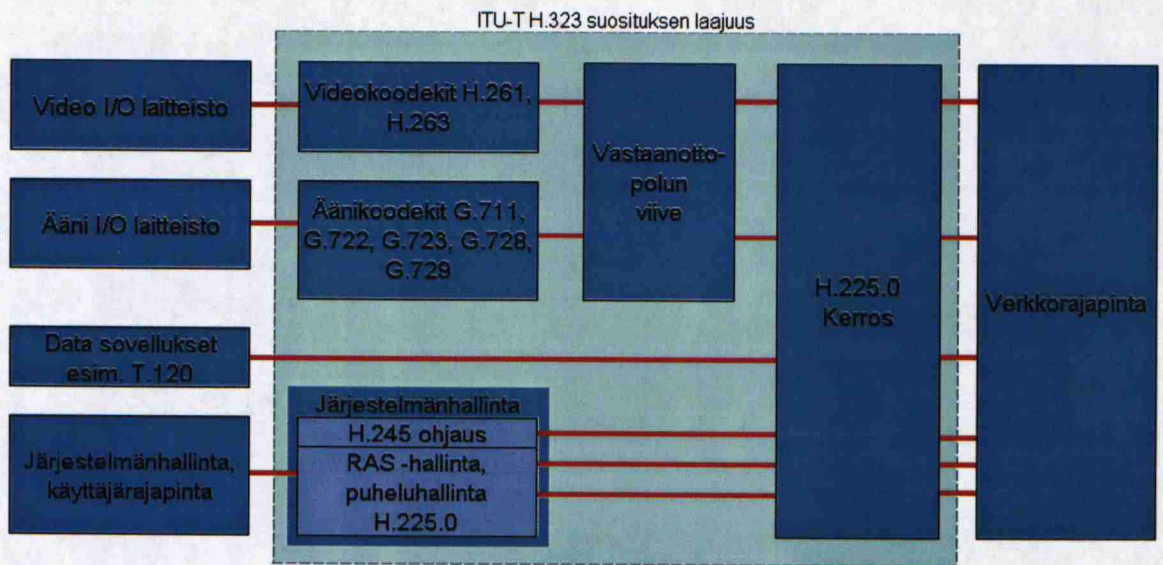
2.3.3 RTCP

RTP standardi sisältää kyseisen protokollan lisäksi myös ohjausprotokollan eli RTCP:n. RTCP tarjoaa muun datan seassa kuljetettavaa ohjausinformaatiota multimedia-sovellukselle. Ohjausinformaation tehtävänä on antaa palautetta sovelluksen ja tiedonsiirtoverkon suorituskyvystä. Lisäksi se tarjoaa tavan käsitellä ja tahdistaa eri mediavirtoja, jotka on lähetetty samasta lähteestä. Näiden lisäksi ohjausinformaatiota käytetään tunnistamaan eri osapuolet ja informaatiota voidaan näyttää myöhemmin vaikkapa näyttöpäätteellä loppukäyttäjille.

Ohjausinformaation ensimmäinen toiminto on erityisen hyödyllinen ruuhkautuneissa tietoverkoissa, jolloin reaaliaikasovellus voi mukauttaa lähetettävää datamäärää esimerkiksi muuttamalla pakkausmenetelmää. Mikäli verkossa on paljon vapaata kapasiteettia, voi sovellus taas lähettää parempilaatuista ääntä tai kuvaa. Lisäksi informaation avulla voidaan ratkaista verkossa ilmeneviä ongelmia. [16], [17]

2.3.4 H.323

ITU:n suositusta pakettiverkkojen multimediaviestintään ja merkinantoon kutsutaan H.323:ksi. Suositus pitää sisällään monta muuta suositusta, kuten H.245:n, jota käytetään puheluiden ohjaukseen (kuva 6). H.323-protokollaa käytetään hyvin paljon Internet puhelintekniikan kanssa. Laitetta, jota käytetään joko Internet puheluiden muodostamiseen tai purkamiseen, kutsutaan H.323-terminaaliksi. Tämä voi olla esimerkiksi työasema, johon on asennettu tarvittavat ohjelmistot ja laitteet tai sitten erillinen puhelinta muistuttava laite, johon on asennettu tietoverkko-ohjelmistot ja vaikkapa Ethernet tietoliikenneportti. Nämä H.323-terminaalit kykenisivät keskustelemaan suoraankin keskenään, mutta yleensä keskustelun välikätenä käytetään portinvartijaa. Portinvartijoiden tehtävänä on mm. muuntaa eri osoitteita ja rajoittaa yhtäaikaisten puhelujen määrää, jotta H.323-sovellusten vaatima tiedonsiirtokapasiteetti ei kasva liian suureksi. H.323 sisältää myös yhdyskäytäväkonseptin, jolla yhdistetään H.323-verkko toisen tyyppisiin verkkoihin, kuten yleiseen puhelinverkkoon. Tästä lisää kappaleessa 2.4. [18]



Kuva 6. H.323:n rakenne ja laajuus

Yksi H.323-suosituksen tärkeimpiä osia on H.245-puhelunohjausprotokolla. Mikäli H.323-terminaali haluaa keskustella toisen terminaalin kanssa, käyttää se H.245-protokollaa vaihtaakseen puhelutietoja toisen terminaalin kanssa. Tässä neuvottelussa määritellään mm. mitä äänikoodekkia käytetään ja minkä UDP-porttien kautta RTP ja RTCP tulevat keskustelemaan. H.323-tuotteet ja -palvelut tarjoavat käyttäjilleen seuraavat hyödyt [19]:

- ❖ Eri valmistajien tuotteet ja palvelut, jotka on suunniteltu H.323-suosituksen pohjalta voivat toimia keskenään ilman ohjelmistoihin liittyviä rajoitteita (käytännössä laitteiden toimiminen keskenään varmistetaan järjestämällä testaustapahtumia laitevalmistajien kesken [20], [21]). H.323-päätelaitteet, sillat, palvelimet ja yhdyskäytävät tukevat tätä yhteistoimintaa.
- ❖ H.323-suositus antaa mahdollisuuden käyttää useita eri ääni- ja videokoodekkeja, jotka muuntavat siirrettävää dataa verkon vaatimusten mukaan käyttäen eri tiedonsiirtonopeuksia, viiveitä ja laatuvalintoja. Käyttäjät voivat halutessaan valita koodekin, joka palvelee heidän tietoverkkoaan ja laitteistojaan parhaiten.
- ❖ T.120:n datakonferenssi-lisäys H.323-suositukseen mahdollistaa ohjelmistojen tarjoaman täyden laajuuden multimediatoimintoja, joissa voidaan audiovisuaalisuuden lisäksi siirtää dataa.

2.3.5 SIP ja MGCP

SIP (Session Initiation Protocol) on sovelluskerroksen signaalointiprotokolla, jolla luodaan, muokataan ja päätetään istuntoja. Kyseisiin istuntoihin luetaan mm. multimediakonferenssit, IP-pohjaiset puhelut ja multimedian jakelu. [22]

MGCP (Media Gateway Control Protocol) on protokolla, jolla voidaan ohjata yhdyskäytäviä (kts. kappale 2.4.1), jotka sijaitsevat IP-verkon ja puhelinverkon välissä. MGCP:n arkkitehtuuri perustuu ”isäntä-orja”-ajatteluun, jossa yhdyskäytävät ovat ”orjia”, jotka tottelevat älykkäiden kontrolloijyksiköiden eli ”isäntien” käskyjä. Kontrolloijyksiköt puolestaan toimivat yhteistyössä signaalointiprotokollien esim. H.323:n kanssa. [23]

2.4 Data- ja puhelinverkon yhdistäminen

2.4.1 Yhdyskäytävä

Yhdyskäytävää (gateway) käytetään yhdistämään IP-verkon ja PSTN-verkon laitteita. Toisin sanoen yhdyskäytävät toimivat rajapintana H.323-päätelaitteiden ja muiden päätelaitetyyppien välillä. Tämän lisäksi yhdyskäytävä kykenee muuntamaan eri audio- ja videokoodekkeja [24]. Yhdyskäytävä siirtää puheen erilaisten verkkojen välillä muuntamalla signaalit sellaiseen muotoon, että välittäminen verkkojen välillä on mahdollista. Samalla se huolehtii puheen pakkaamisesta, viiveen hallinnasta ja kaiun poistosta.

Yhdyskäytävänä voi toimia jopa toimistokäytössä oleva pöytämikro, joka on varustettu tarvittavilla lisäkorteilla ja ohjelmistoilla. Mikäli kaivataan suurta kapasiteettia, käytetään erillisiä verkkolaitteita, jotka on suunniteltu nimenomaan VoIP-yhdyskäytäväksi. Suuremman kapasiteetin koneet voivat olla suunniteltuja pelkästään toimimaan VoIP-yhdyskäytävinä, tai sitten toiminnallisuus on voitu lisätä johonkin muuhun verkon laitteeseen, kuten reitittimeen. Jälkimmäistä voidaan pitää sikäli parempana ratkaisuna, että se on kustannustehokkaampi ja sillä voidaan paremmin hallita viiveitä.

2.4.2 Portinvartija

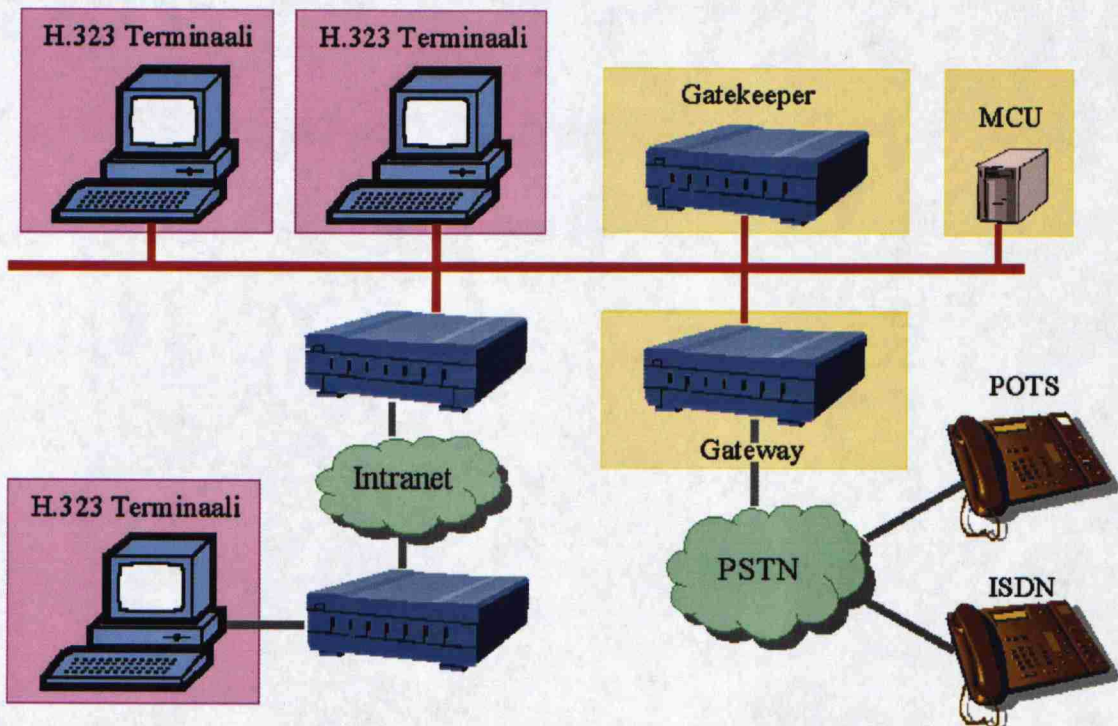
Portinvartija (gatekeeper) on VoIP-verkon keskeinen elementti, sillä se ohjaa verkon puheluita ja huolehtii rekisteröityjen päätelaitteiden hallinnasta. Portinvartija huolehtii

myöskin IP-osoitteiden ja puhelinnumeroiden muuntamisesta VoIP-verkon ja muiden verkkojen välillä, puheluiden yhdistämisestä sekä hälytys, varattu ja vapaana -toiminnoista. Portinvartija toteutetaan tyypillisesti mikrotietokoneissa toimivana ohjelmistona. Koska portinvartija on usein ohjelmistopohjainen, sen etuna voidaan pitää helppoa päivitettävyyttä.

2.4.3 MCU

MCU (Multipoint Control Unit) mahdollistaa konferenssipuhelut kolmen tai useamman päätteen välillä. MCU määrittelee päätelaitteiden kapasiteetin, neuvottelee yhteyden parametrit ja ohjaa puhelun asetuksia. MCU:n avulla voidaan tehdä myös kahdenkeskeisiä puheluja, mutta tällöin osapuolilla on vaihtoehtona ottaa mukaan myös useampia osapuolia. Päätelaitteiden kapasiteettimääritysten pohjalta tietyt yhteydenotot voidaan myös evätä, mikäli verkossa ei ole resursseja yhteydenottoon.

Vaikka MCU onkin loogisesti erillinen yksikkö, voidaan se yhdistää joko johonkin päätteeseen, portinvartijaan tai yhdyskäytävään. MCU on H.323-verkon lisäkomponentti. Toisin sanoen sen käyttäminen ei ole välttämätöntä. Kuva 7 kuvaa data- ja puhelinverkkojen yhdistämistä.



Kuva 7. H.323-verkon laitteiden liittyminen perinteiseen puhelinverkkoon.

3 Kapiteelin tieto- ja puhelinverkko

Kapiteeli on valtakunnallinen kiinteistösisjoitusyhtiö, joka on keskittynyt asiakkaidensa toimitilatarpeiden ratkaisemiseen yhteensä 14 toimipisteessä kaikissa Suomen tärkeimmissä kasvukeskuksissa. Kapiteelin tuotteita ovat toimistotilat, liiketilat, tuotanto- ja varastotilat, hotellit ja maa-alueet sekä tontit. Yhtiön palveluksessa on noin 150 työntekijää ja sen omistuksessa noin 3 200 kiinteistöä, joiden yhteisarvo on noin 1,3 miljardia euroa. Kapiteeli palvelee strategiansa mukaisesti panostamalla vuorovaikutteiseen asiakasyhteistyöhön sekä asiakaspalveluun ja sen laatuun. [25]

Kapiteelille VoIP-puhelinpalvelua tarjoava Merlin Systems Oy on Suomessa toimivien yritysasiakkaiden palvelemiseen keskittyvä palveluyhtiö, joka myy asiakkuudenhallintaan ja kommunikaationhallintaan (mm. tietoverkkopohjaiset puhelinjärjestelmät ja Contact Centerit) liittyviä ratkaisuja sekä palvelukeskustoteutuksena että yrityksille toimitettavina järjestelminä. [26]

Siirryttäessä käyttämään IP-pohjaista puheratkaisua yrityksen puhelinliikenteessä tarkoittaa se sitä, että loppujen lopuksi perinteinen puhelinvaihdeverkko (PSTN) jää syrjään. Tämän vaihdoksen on oltava hyvin suunniteltu ja se vaatii muutoksia niin syrjäytettävään puhelinverkkoon kuin tietoverkkoonkin jo käyttöönottovaiheessa. Tässä luvussa käydään läpi perinteisen puhelinjärjestelmän ongelmia, jotka olivat yksi syy siihen, että Kapiteeli päätti selvittää puhelinjärjestelmänsä vaihtamisen IP-pohjaiseksi. Käydään läpi myös ne muutokset, jotka piti tehdä tietoverkkoon, jotta se pystyisi luotettavasti hoitamaan puheliikenteen dataliikenteen ohessa. Lopuksi tarkastellaan puhelinliikenteen turvallisuutta ja luotettavuutta, kun puhe välitetään tietoverkoissa.

Ennen kuin lähdetään tarkastelemaan mitä muutoksia Kapiteelin tietoverkkoon piti tehdä IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönottamiseksi, kuvataan tilannetta ennen muutoksia. Kapiteelin pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Tämän lisäksi Kapiteelilla on toimipisteitä ympäri Suomea yhteensä 13 kappaletta, joista suurimmat sijaitsevat Tampereella, Turussa, Jyväskylässä ja Oulussa. Asiakaspalvelukeskus sijaitsee Kapiteelin Tampereen toimipisteessä. Meridian-puhelinvaihteeseen oli kytketty edellä mainitut suuret toimipisteet ja tämän lisäksi Soneran hoitama ulkoistettu

puhelunvälityspalvelu. Pienten toimipisteiden puhelinyhteydet oli hankittu paikallisilta puhelinyhdistyksiltä. Nämä kaikki puhelinyhteydet oli nidottu yhteen toimimaan saman valtakunnallisen yrityksen numeron alla.

3.1 Nykyisen puhelinjärjestelmän ongelmat

Kun mietitään mahdollisuutta ottaa uusi puhelinjärjestelmä käyttöön, herää aina kysymys siitä, miksi vanha ja toimiva puhelinjärjestelmä pitäisi korvata uudella vaihtoehdolla. Perinteinen puhelinvaihte, ohjelmistot ja puhelinlaitteet pitää aika ajoin uusia, eikä se ole aivan ilmaista. Vaikka perinteistä puhelinjärjestelmää pidetään usein luotettavana ja vikasietoisena, esiintyy siinä yllättävän usein ongelmia. Lisäksi muutosten tekeminen on hankalaa ja ne maksavat.

Kapiteelille uuden puhelinjärjestelmän käyttöönoton ajatus tuli eteen, kun kehitettiin edelleen Kapiteelin perustavoitteita muun muassa asiakkuuden hallintaa ja monikanavaisuutta. Ajatuksena oli kokonaisvaltainen kommunikaation hallinta, joka samalla tukee asiakaspalvelua. Näiden seikkojen lisäksi Meridian-puhelinvaihteen huoltokulut rupesivat nousemaan. Huomattiin, että vanha puhelinvaihte ja sen ohjelmistot olivat auttamattoman vanhanaikaisia ja niiden uusiminen tulisi olemaan kallis prosessi. Ryhdyttiin miettimään, olisiko mahdollista välttää uuden puhelinvaihteen hankkiminen, ja esiin tuli IP-pohjainen vaihtoehto, jota tarjottiin palveluna. Tämä tarkoitti sitä, että uusien laitteiden hankkiminen olisi palveluntarjoajan vastuulla, samoin kuin kaikki huoltokulut ja koko järjestelmän toimiminen. Lisäksi kävi ilmi, että tämän uuden järjestelmän testaaminen onnistuisi helposti nykyisen puhelinjärjestelmän rinnalla.

Nykyisessä puhelinjärjestelmässä oli myös muita ongelmia taloudellisten seikkojen ohella. Eräs suurimmista ongelmista oli se, että puhelinvaihte ei ollut millään lailla Kapiteelin hallinnoitavissa. Puhelinvaihte oli siis täysin puhelinyhtiön hallinnassa. He kävivät huoltamassa puhelinvaihdetta vikojen ilmettyä ja tekivät muutoksia, mikäli henkilöstö vaihtui jne. Uusi IP-pohjainen palvelu mahdollistaisi paremman puhelinjärjestelmän hallittavuuden. Näihin hallittavuusominaisuuksiin liittyi esimerkiksi puhelinliikenteen monitorointi ja raportointi. Näiden lisäksi pystyttiin helposti muuttamaan työntekijöiden puhelinnumeroita ja työntekijän siirtyessä työpisteestä

toiseen mitään fyysisiä muutoksia ei tarvinnut tehdä, sillä vanha puhelinnumero toimi välittömästi myös uudessa työpisteessä.

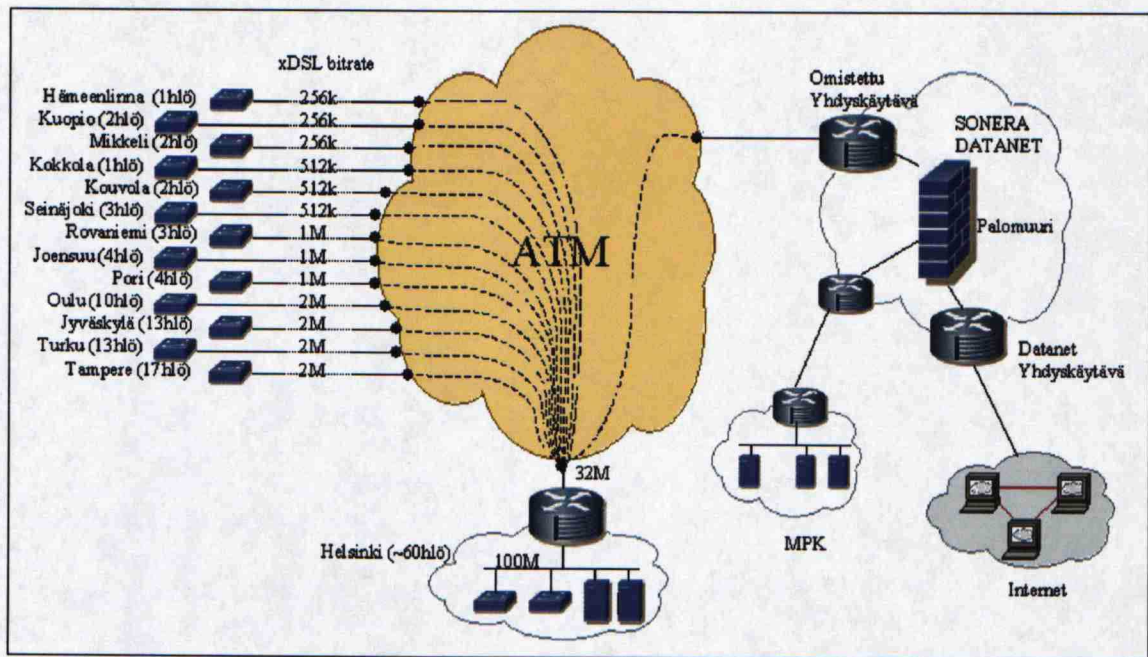
Ongelmia aiheutti myös se, että puhelunvälityspalvelu oli ulkoistettu eivätkä puhelunvälityspalvelun hoitajat tunteneet Kapiteelin työntekijöitä jolloin puheluita ohjattiin väärille työntekijöille. Heillä ei myöskään ollut yhtä ajantasaista tietoa siitä, miten Kapiteelin työntekijät olivat tavoitettavissa. Havaittiin, että mikäli puhelunvälityspalvelu pystytettäisiin hoitamaan Kapiteelin omien työntekijöiden voimin, voisivat nämä ongelmat vähentyä. IP-pohjaisella puhelinratkaisulla puhelunvälityspalvelu voitaisiin ohjelmistojen logiikan avulla hajauttaa usealle toimipisteelle ja henkilölle - mahdollisesti jopa ilman että jouduttaisiin palkkaamaan uusia työntekijöitä hoitamaan puhelunvälityspalvelua.

Edellä mainittujen ongelmien lisäksi osa Kapiteelin toimipisteistä ei kuulunut Meridian-puhelinvaihteeseen, vaan ne oli yhdistetty yleiseen puhelinverkkoon paikallisten puhelinyhdistysten toimesta. Tämä hankaloitti näiden konttoreiden työntekijöiden tavoitettavuutta, ja puheluiden siirrot olivat hankalia. Kaikkien Kapiteelin toimipisteiden kuuluminen yhteiseen dataverkkoon tarkoitti, että kaikki voisivat käyttää samaa IP-puhelinpalvelua ja edellä esitetyt ongelmat katoaisivat.

3.2 Muutokset tietoverkkoon

Kapiteelin tietoverkko oli kuvan 8 mukainen. Kukin toimipiste oli yhdistetty xDSL-tekniikalla kapiteelin sisäiseen tietoverkkoon, joka perustui ATM-tekniikkaan.

ATM on luonteeltaan yhteydellinen, eli keskustelevien laitteiden välille luodaan yhteys ennen tiedonsiirtoa. Yhteys voi olla joko pysyvä (Permanent Virtual Connection PVC) tai kytkettävä (Switched Virtual Connection SVC). Kapiteelin tapauksessa ATM-pilven sisäiset yhteydet olivat pysyviä yhteyksiä kustakin sivukonttorista pääkonttorin ATM-liittymään. Yhteydet muuhun maailmaan yrityksen sisäisestä verkosta tapahtuivat Soneran Datanetin (runkoverkko) kautta.



Kuva 8. Kapiteelin tietoverkko ennen muutoksia

Kun ryhdyttiin selvittämään Kapiteelin tietoverkon soveltuvuutta pakettipohjaiseen puheensiirtoon, tutkittiin ensin kunkin toimipisteen muodostamaa liikennettä xDSL-yhteyksillä. Tämä tehtiin käyttämällä hyväksi Soneran Surfmanager verkonhallintatyökalua, jolla kunkin yhteyden liikennettä tarkasteltiin kuukauden ajalta.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että jokaisen tietoliikenneyhteyden keskimääräinen kuorma työaikana (klo 8-17) oli alle 10% yhteyden kapasiteetista. Useimmilla yhteyksillä kapasiteetin käyttö oli 5% tuntumassa, mutta etenkin konttoreilla, joilla on pieni tiedonsiirtokapasiteetti ja Tampereella, jossa henkilöstömäärä on suhteellisen suuri siirtokapasiteettiin nähden, käyttöaste siirtoyhteydellä oli miltei 10%. Seurannassa selvitettiin myös kuukauden ajanjaksolla kapasiteetin maksimikäyttö yhden tunnin aikana. Toisin sanoen haettiin tietoliikenneyhteyden ruuhkaisinta tuntia kuukauden ajalta. Ruuhkatuntien keskimääräinen kapasiteetin käyttöaste oli 22%, jota voidaan pitää suhteellisen alhaisena. Suurimmat ruuhkatuntien tietoverkon kapasiteetin käyttöasteet olivat Tampereella (46%) ja Kuopiossa (48%).

Tutkimuksessa kävi hyvin ilmi, että Kapiteelin verkossa oli hyvinkin tilaa IP-puhelujen tuomalle lisäliikenteelle. Vaikka jokainen konttorin työntekijä puhuisi IP-puhelua (23,5 kbps/puhelu) ruuhkaisimman tunnin aikana pysyttäisiin silti kapasiteetin rajoissa.

Tampereen toimipisteen tilanne huomattiin kuitenkin pulmalliseksi, sillä kuormitus sen

yhteydellä oli Kapiteelin suurimpia. Toinen tekijä Tampereen toimipisteen tapauksessa oli se, että juuri siellä sijaitsi Kapiteelin asiakaspalvelukeskus, jonka tuli pystyä palvelemaan asiakkaita puhelimitse erittäin luotettavasti. Näitä havaintoja, puhelukäyttäytymisanalyysiä (millaisia puheluita yrityksessä soitetaan ja minne) ja halua ottaa puhelunvälityspalvelu Kapiteelin hoidettavaksi pidettiin myöhemmin lähtökohtana tietoverkon muutossuunnittelussa.

Suunniteltaessa tietoverkkoa, joka soveltuu datan kuljettamisen lisäksi äänen kuljettamiseen, tulee ottaa huomioon periaatteet, jotka vallitsevat yhdistelmäverkon suunnittelussa – skaalautuvuus, stabiilisuus, saatavuus ja ennustettavuus. Käytännössä tämä tarkoittaa verkon mitoittamista siten, että se pysyy kaikissa tilanteissa stabiilina ja että liikenteen huippukuormat pystytään hallitsemaan ilman, että viiveet reitittimissä kasvavat liian suuriksi. Tavoitteena on laadukas puheensiirto, jota pyritään tarjoamaan hyväksikäyttämällä seuraavia menetelmiä:

- * Resurssien varaus
- * Liikenteen priorisointi
- * Puheliikenteen optimointi
- * Testaus ja analyysit

Resurssien varaus on sitä, että kullekin IP-puhelulle varataan jo suunnitteluvaiheessa tarpeeksi tiedonsiirtokapasiteettia. Liikenteen priorisoinnilla tarkoitetaan sitä, että liikenne ryhmitellään eriarvoisiin luokkiin ja jotkin luokat (esim. IP-puhe) saavat parempaa palvelua tietoverkon eri pisteissä. Puheliikenteen optimointi on toisin sanoen pakettimuotoisen puheen pakkaamista. Pakattu puhe vie vähemmän tiedonsiirtokapasiteettia ja samalle siirtotielle mahtuu näin useampi puhelu samanaikaisesti. Testauksella ja analysoinnilla tarkoitetaan, että muutoksen jälkeistä tilannetta on monitoroitava jatkossa johdonmukaisesti tasaisin aikavälein, jotta mahdolliset muutokset kuormissa havaittaisiin ja niihin voitaisiin reagoida.

Priorisoinnin ideana on tarjota jollekin liikenteelle parempaa palvelua. Paremman palvelun komponentteja on neljä: viive, viiveen vaihtelu, kaistanleveys ja luotettavuus. Viiveen minimoimiseksi reititysjärjestelmän tulee olla suunniteltu siten, että se pyrkii aina minimoimaan viiveen siirtotiellä. Tämän lisäksi verkon topologian tulee olla

suunniteltu siten, että viiveet olisivat liikenteen luonteen huomioon ottaen mahdollisimman pienet. Viiveen vaihtelun minimoimiseksi reititysjärjestelmän tulisi pysyä mahdollisimman stabiilissa tilassa ja reitittimien jonoasetukset tulisi ohjelmoida niin, että ne pysyvät samassa keskimääräisessä koossa kuin viiveen ja siirtokapasiteetin tulo sitä syöttävällä kaistalla. Näiden keinojen lisäksi tulisi kiinnittää huomiota pakettien maksimikokoon siten, että siinä otetaan huomioon linkkien siirtokapasiteetti. Liian suuret pakettikoot pienikapasiteettisella siirtotiellä lisäävät viiveitä ja viiveen vaihteluita.

Tietoverkon muutossuunnitelman tekemiseksi käytettiin edellä lueteltuja menetelmiä. Puheliikenteen optimoinnista vastasi IP-puhelinpalvelun tarjoaja, joka käytti G.729a-pakkausmenetelmää puheen pakkaamiseksi pakettikoon ollessa 30 ms (katso kuva 8). Sunnittelun lähtökohtana oli siis joko resurssien riittävä varaaminen puhepaketeille tai IP-puheliikenteen priorisointi. Mahdollisuutena oli myös yhdistää nämä keinot. Ensimmäinen kohta suunnitelmassa oli se, kun päätettiin liittää IP-puhelinpalvelun tarjoaja Merlin palvelun osalta (kuvassa 8 MPK) osaksi Kapiteelin sisäistä tietoverkkoa. Tämä päätös oli oikeastaan tehty jo aivan projektin alussa, mutta väliaikaisratkaisu pilotointivaiheen aikana oli toteutettu kuvan 8 osoittamalla tavalla. Päätöstä tuki myös se, että koettiin parempana ratkaisuna eriyttää muu Internet-liikenne puheliikenteestä. Mikäli myös puhe olisi kulkenut Soneran runkoverkon kautta olisi Internet-käyttö saattanut häiritä puheliikennettä.

Kuten aikaisemmin todettiin Kapiteelin tietoverkko oli jo varsin hyvässä mallissa ennen muutosten tekemistä. Suurin osa toimipisteistä oli liitetty yrityksen sisäiseen tietoverkkoon riittävän suurikapasiteettisella tietoliikenneyhteydellä. Näiden toimipisteiden osalta kuitenkin varmistettiin, että nykyiset yhteydet olisi tarpeen tullen mahdollista vaihtaa nopeasti suurempikapasiteettisiksi. Tästä johtuen Kapiteelin tietoverkon suunnittelu rajautuikin lähinnä Tampereen ja Merlinin Palvelukeskuksen (MPK) yhteyksien suunnitteluun. Ensimmäisessä vaiheessa näiden yhteyksien toteuttamiseksi kehitettiin neljä eri vaihtoehtoa, jotka olivat:

1. VoIP-liikenteen priorisointi joko koko Kapiteelin verkossa tai osassa siitä
2. Nostetaan Tampereen toimipisteen tietoliikenneyhteyden nopeus 2 Mbps → 4 Mbps. MPK kytketään 2 Mbps yhteydellä Helsingin toimipisteeseen.

3. Yhdistetään Tampere nykyisen yhteyden lisäksi suoraan MPK:hon 2 Mbps yhteydellä. MPK liitetään tämän lisäksi myös Helsingin toimipisteeseen 2 Mbps yhteydellä.
4. Nostetaan Tampereen tietoliikenneyhteyden nopeutta 2 Mbps → 4 Mbps. MPK yhdistetään Kapiteelin ATM-pilveen.

VoIP-liikenteen priorisointi koko Kapiteelin osalta todettiin heti mahdottomaksi.

Liikenteen priorisointi olisi vaatinut mittavia reititinhankintoja ja toteutus olisi ollut muutenkin hyvin kallis. Vaikka reitittimet Tampereella ja Helsingissä mahdollistivatkin VoIP-liikenteen priorisoinnin ei sitä voitu tehdä ilman erillistä sopimusta tietoliikenneyhteyksiä tarjoavan yrityksen (Soneran) kanssa. Heidän tekemänsä tarjous todettiin kuitenkin liian kalliiksi vaihtoehdoksi. Lopulliseen ratkaisuun nähden se oli yli kaksi kertaa kalliimpi vaihtoehto. Mikäli tämän ratkaisun hinta ei olisi ollut esteenä, se olisi hyvinkin voinut olla paras ratkaisu.

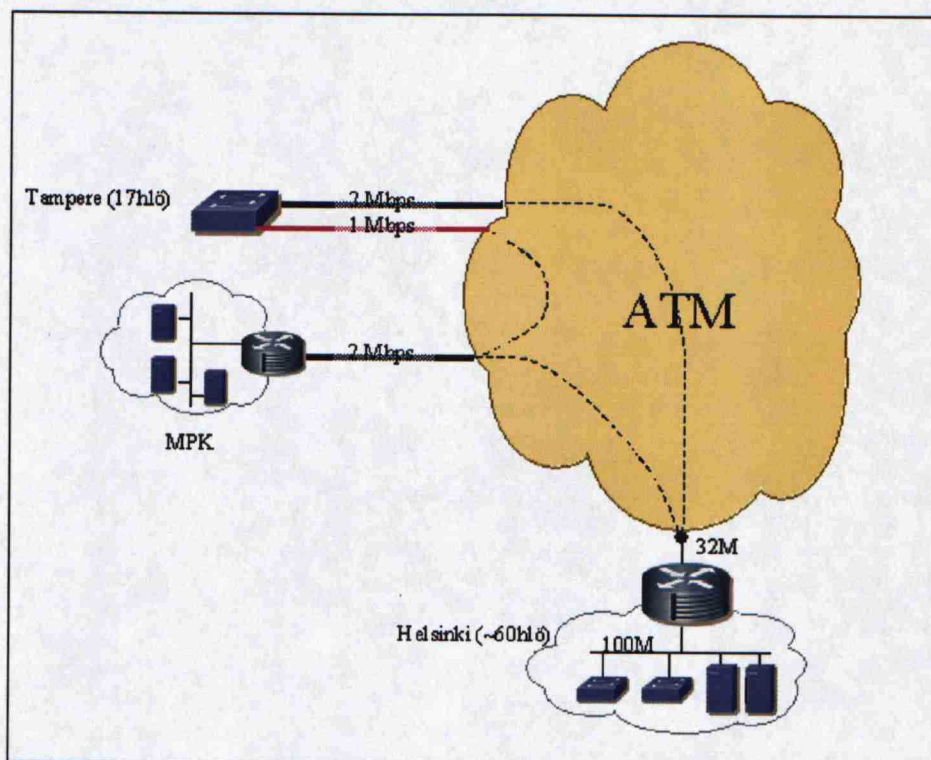
Toinen vaihtoehto oli kehitetyistä vaihtoehdoista selkeästi halvin. Sen ongelmaksi havaittiin kuitenkin se, että kaikki puhelin yhteydet olisivat olleet riippuvaisia Helsingin liittymäyhteydestä muihin toimipisteisiin. Mikäli yhteys muista toimipisteistä Helsinkiin häiriintyisi se tarkoittaisi kaiken puhelinliikenteen loppumista muista toimipisteistä. Tämä ei ollut hyväksyttävää, etenkin Tampereen osalta. Toiseksi ongelmaksi tässä ratkaisussa havaittiin se, että tietoliikennenopeuksien nostaminen edelleen tulisi olemaan hankalaa.

Kolmannen ratkaisun vahvuus oli selkeästi sen tuoma kahdennus puhelinliikenteelle. Varareitin arvo etenkin Tampereen toimipisteelle oli arvokas. Ongelmaksi koitui tässä tapauksessa sen hinta. Yhteyden tekeminen Tampereelle tulisi olemaan suhteellisen kallis, ja edelleenkin muut konttorit olivat näiden muutaman linkin toiminnan varassa. Lisäksi tietoliikenneyhteyksien nopeuden nostaminen tulisi olemaan hankalaa.

Viimeinen vaihtoehto havaittiin analysoinnissa parhaaksi ratkaisuksi ehdotetuista neljästä vaihtoehdosta. Sen hinta oli selvästi edullisempi kuin kolmannen vaihtoehdon, vaikkakin hieman toista vaihtoehtoa kalliimpi. Neljännessä ratkaisussa tietoliikenneyhteyden nostaminen etenkin MPK:een havaittiin helpoksi. Tässä ratkaisussa kaikki konttorit olivat lisäksi riippumattomia muista, joten mikäli jossain

toisessa yhteydessä esiintyisi ongelmia, se ei vaikuttaisi muihin. Vikasietoisuuden lisäksi tämän ratkaisun huoltotoimenpiteet todettiin helpoiksi.

Valittu muutosratkaisu ei ollut mikään edellä mainituista ratkaisuista, vaan se tehtiin muokkaamalla viimeistä ehdotusta. Ratkaisussa MPK yhdistettiin Kapiteelin ATM-verkkoon 2 Mbps:n nopeudella. Tämän lisäksi VoIP-puheluiden varmistamiseksi Tampereelle päätettiin rakentaa uusi 1 Mbps:n tietoliikenneyhteys, joka oli omistettu vain VoIP-puheluille. Alla olevassa kuvassa 9 näkyy muutosratkaisu pääpiirteittäin. Siitä on karsittu muut toimipisteet paitsi Helsinki ja Tampere sekä Soneran runkoverkko. Tässä ratkaisussa saadaan Tampereen asiakaspalvelukeskuksen puhelut turvattua, mikä oli yksi tärkeimpiä alkuperäisiä tavoitteita. Ratkaisu on lisäksi skaalautuva, sillä yhteyksien nopeuksia voidaan helposti kasvattaa. Näiden ominaisuuksien lisäksi se on stabiili kaikkien konttorien osalta.



Kuva 9. Muutosratkaisu

3.3 Turvallisuus

Turvallisuusasioita on ääni- ja dataverkossa perinteisesti, aivan näihin päiviin asti, pidetty toisistaan erillisinä asioina, vaikka ne tosiasiaassa ovat hyvin samankaltaisia.

Monille on selvää, että tiedon lähettäminen Internetin välityksellä sisältää turvallisuusriskejä, mutta toisaalta he voivat hyvinkin kuvitella että puhelinkeskustelut ovat tiukasti salaisia. Kun puhelin- ja dataverkkoja yhdistetään havaitaan kuinka samankaltaisia turvallisuushuolet näissä molemmissa verkoissa ovat ja kuinka niihin tulee kiinnittää huomiota.

Yleisen puhelintekniikan puolella on oltu pitkän aikaa tietoisia salakuuntelun mahdollisuudesta, mutta tätä uhkaa ei pidetä yleisesti huolestuttavana, sillä se liitetään usein vain järjestyneeseen rikollisuuteen ja vakoiluun. Salakuuntelu perinteisessä puhelinverkossa vaatii fyysisen pääsyn puhelinjohtimeen sekä jonkinlaisen laitteiston puhelun kuunteluun ja mahdollisesti nauhoitukseen. On syytä huomata, että tässä tapauksessa on mahdollista salakuunnella vain yhtä puhelua samanaikaisesti. VoIP-ratkaisussa uhka kasvaa merkittävästi. Käytettävä tekniikka on huomattavasti kehittyneempää kuin mitä tarvitaan perinteisen puhelinverkon salakuunteluun, mutta myös ohjelmistot salakuuntelun tekemiseksi ovat huomattavasti useamman ihmisen saatavilla Internetin vuoksi. Datan ”haistelu”-työkaluja (sniffing) on helposti saatavilla, ja on vain ajan kysymys, milloin nämä ohjelmat rupeavat tukemaan joitain yleisiä VoIP-protokollia. Koska VoIP-puhelut käyttävät yrityksen jaettua sisäverkkoa, on teoriassa kenen tahansa työntekijän mahdollista kuunnella puhelua. Ajatus, että salakuuntelun kohteena olisi vain Internet-liikenne, on utopiaa. VoIP-puhelujen yksityisyyttä voitaisiin helposti lisätä salauksella, mutta se vaatii hyvin paljon prosessoritehoa ja lisää viiveitä.

Jos pakettiverkossa hukkuu paketti, voidaan se helposti lähettää uudestaan. VoIP-tekniikalla ääntä lähetettäessä hukkuneet paketit vaikuttavat välittömästi äänenlaatuun, sillä tässä tapauksessa paketteja ei ehditä lähettää uudestaan. Denial of Service -hyökkäykset (DoS) ovat valitettavasti tulleet yhä yleisimmiksi tämän päivän Internetissä. Puhelujen siirtyessä yhä enemmän yritysten tietoverkkoihin DoS-hyökkäysten merkitys kasvaa entisestään, sillä puhelinpalvelu on tämän takia vaarassa kaatua. VoIP-palvelimet tulisivat sijoittamaan sellaisten palomuurien taakse, että DoS-hyökkäykset eivät aiheuttaisi vaaraa puhelinliikenteelle. Tietoverkoista vastaavien tehtävänä on lisäksi pitää huoli siitä, että kaikki palomuurit ja palvelimet ovat ajan tasalla ja että niissä on viimeisimmät turvallisuusominaisuudet.

Aivan kuten dataverkossa, yleensä VoIP:in käyttäjät voivat silloin tällöin haluta varmistaa, että puhelun toinen osapuoli todella on se, kuka hän väittää olevansa. Tähän käytetään autentikointia, jota tukevat protokollat H.323, SIP ja MGCP. H.235-komponentti H.323-suosituksessa määrittelee kaksi autentikointityyppiä:

1. Symmetrinen salaus, joka on vähän prosessoritehoa vaativa, eikä edellytä aikaisempaa keskustelua kahden koneen välillä
2. Allekirjoituspohjainen, joka voi olla joko symmetrinen tai asymmetrinen. Se vaatii salaisen avaimen tai todistuksen jakamista ennen kuin voidaan keskustella.

Diffie-Hellman menetelmää voidaan käyttää salaisen avaimen tekemiseen.

Asymmetriset salausmenetelmät ovat erittäin turvallisia, mutta vaativat koneelta paljon prosessointitehoa sekä aikaa.

H.323-suositusta ei voida kuitenkaan pitää täysin käyttäjäystävällisenä ratkaisuna turvallisuuden puolesta. H.323-puhelut toteutetaan usealla yhtäaikaista yhteydellä. Jos tätä ei vielä koeta ongelmaksi, niin melkein kaikki niistä käyttävät dynaamisia porttiosoitteita, mikä tekee H.323:sta palomuurien vihollisen [27]. Nykyaikaiset palomuurit toki tukevat jo tätä protokollaa, mutta tuskin täysin vedenpitäviä ratkaisuja kyseiseen ongelmaan on vielä keksitty.

3.3.1 Suositukset

Edellä käytiin läpi VoIP-puheluiden turvallisuuteen liittyviä ongelmia. Seuraavaksi esitellään suosituksia turvallisuuden parantamiseksi. Ensimmäinen ehdotus on, että yrityksen lähiverkossa ei käytetä jaettuja komponentteja, kuten lähiverkon keskitintä (hub). Jaettujen laitteiden käyttö mahdollistaa sen, että murtautujat saavat käsiinsä kaiken liikenteen, joka kulkee keskittimen läpi. Tämä ei tietenkään tarkoita, että olisi yksinkertaista muodostaa hankituista datapaketeista joidenkin henkilöiden puhelu, mutta miksi edes lähtökohtaisesti helpotettaisiin tätä tehtävää. Yrityksen tietoliikenne-asiantuntijoiden tulisi säännöllisin väliajoin varmistua siitä, että yrityksen lähiverkossa ei ole asiattomia laitteita tutkimassa muuta liikennettä.

Toisena suosituksena on, että mikäli VoIP-puheluita lähetetään yleisen Internetin läpi, nämä puhelut salataan. Päästä päähän -salaus, joka vaatii IP-puhelinpalvelulta paljon

prosessointitehoa, ei ole ainoa ratkaisu salaukseen. Salaus voidaan tehdä myös linkkitasolla. Yhdyskäytävät on suunniteltu käsittelemään suurta prosessointia vaativia tehtäviä, ja tässä tapauksessa salaus ei aiheuttaisi paljon viivettä IP-puheluun.

Kolmantena suosituksena on tarjota kahdennusta VoIP-verkossa. Käyttäjät ovat tottuneet pieniin katkoksiin datapalveluissa, mutta tätä ei hyväksytä puhelintekniikan osalta. Suunniteltaessa VoIP-puhelinpalvelun käyttöönottoa tulee suunnitella myös vaihtoehtoisia keinoja tehdä puheluja, mikäli ensisijainen reitti jostain syystä lakkaa toimimasta. Tietoverkkoon suunnitellut huoltotoimenpiteet pitää aikatauluttaa ottaen huomioon myös se, että kyseessä ei ole vain tiedonsiirron katkos, vaan myös yrityksen puhelinliikenne katkeaa.

Neljäs suositus koskee palomuuureja. Mikäli mahdollista, on syytä käyttää palomuuureja, jotka ymmärtävät VoIP-protokollia. Tarvitaan siis palomuuuri, joka pystyy käsittelemään dynaamisia osoitteita. Mikäli yhdyskäytävä puhelinverkkoon sijaitsee yrityksen lähiverkon kannalta palomuurin toisella puolella, on syytä muistaa, että tähän sisältyy aina riski. On aina mahdollista, että murtautujat löytävät keinon päästä sisään yrityksen arvokkaisiin tietoihin, mikäli palomuurissa on aukko VoIP-liikenteen osalta. [28]

3.3.2 Tapaus Kapiteeli

Kuten kappaleessa 3.2 mainittiin, testivaiheessa kaikki äänipaketit kulkivat Kapiteelin lähiverkosta Soneran runkoverkon kautta Merlinin palvelukeskukseen (MPK).

Kapiteelin lähiverkon ja Soneran runkoverkon välissä sijaitsi palomuuuri. Alussa tilanne näytti hyvältä turvallisuuden suhteen, sillä Soneran runkoverkkoa voidaan pitää erittäin turvallisena siirtotienä äänipaketeille. Mutta mitä pidemmälle VoIP-puhelinratkaisun käyttöönotto eteni, sitä enemmän palomuurista piti avata portteja äänen kuljettamista varten. Lopulta, kun palomuuuri alkoi muistuttaa Merlinin palvelukeskukseen päin ”reikäjuustoa” päätettiin toteuttaa yhteys MPK:hon Kapiteelin lähiverkosta käsin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Tällä oli ratkaiseva vaikutus koko järjestelmän turvallisuuteen, sillä päätöksen jälkeen yritykset Kapiteelin ulkopuolelta puhelinkeskustelun kuuntelemiseksi koettiin lähes mahdottomiksi.

Suurimmat uhat Kapiteelin VoIP-ratkaisun salakuunteluun ovat yrityksen omat työntekijät sekä luotetut tahot eli Sonera ja Merlin. Omien työntekijöiden salakuuntelumahdollisuutta on rajoitettu seuraavin keinoin:

- ✖ Lähiverkko on kytkentäinen, eli mikään työasema ei pysty näkemään toisille työasemille osoitettua dataa. Toisin sanoen kukin työasema näkee vain itselle osoitetut tiedot sekä ryhmälähetetyn (multicast) datan.
- ✖ Käyttäjillä on rajoitetut oikeudet työasemiin. Kaikilla työntekijöillä on samat perusohjelmat käytössään. Kukaan ei voi asentaa ohjelmistoja ilman järjestelmänvalvojaa.
- ✖ Tietoverkon solmupisteet ovat lukituissa tiloissa, ja niiden ohjaamiseen vaaditaan autentikointi järjestelmänvalvojalta.

Käytännössä, mikäli joku työntekijä yrittäisi salakuunnella toisten työntekijöiden puheluita, hän tarvitsisi yrityksen ulkopuolisen tietokoneen, jotta hän voi asentaa siihen tarvittavat ohjelmistot. Tämän lisäksi hänen pitäisi jotenkin päästä käsiksi salakuunneltavan koneen kytkinlaitteeseen, ja lopuksi hänen pitäisi saada käsiinsä kytkimen ohjaamiseen tarvittavat salasanat järjestelmänvalvojalta. Tämä olisi tehtävä suhteellisen pienessä ajassa, sillä Kapiteelin tietoverkkoon kytkeytyneitä laitteita tarkistetaan säännöllisin väliajoin.

VoIP-puhelinjärjestelmän heikoimpana lenkinä turvallisuuden kannalta ovat WLAN-puhelimet, jotka toistaiseksi ovat kuitenkin olleet vain koekäytössä. WLAN-liikenteen salakuunteleminen onnistuu varsin helposti esimerkiksi sylimikrolla, johon on asennettuna WLAN-kortti. Salakuuntelija voi istua vaikkapa yrityksen ulkopuolella autossaan ja salakuunnella WLAN-aseman läpi kulkevaa dataa.

Jotta Kapiteelin olisi tulevaisuudessa mahdollista käyttää WLAN-puhelimia osana VoIP-puhelinjärjestelmänsä päätettiin kehittää sen turvallisuutta. Turvallisuusongelmien takia WLAN-järjestelmässä päätettiin käyttää 128-bittistä WEP-salausalgoritmia, ja tämän lisäksi WLAN-tukiasema asennettiin DMZ-lähiverkkoalueeseen. Toisin sanoen käyttääkseen WLAN-tukiaseman palveluja käyttäjän on ensin tiedettävä 128-bittinen salasana, ja toisaalta, koska tukiasema on asennettu DMZ-alueeseen, käytettävissä ei ole muita palveluja kuin puhelujen tekemiseen tarvittavat palvelut.

Mikäli salaus pystyttäisiin murtamaan, niin WLAN-tukiaseman läpi kulkevia puhelinkeskusteluja lukuun ottamatta muihin Kapiteelin tietoihin ei päästäisi käsiksi. WLAN-salakuuntelua varten tulevaisuudessa onkin vielä tehtävä muutoksia.

3.4 Luotettavuus

Luotettavuus on yksi tietoverkon tärkeimpiä ominaisuuksia. Vaikka tietoverkkoja usein pidetään erittäin luotettavina, on heti todettava, ettei mikään ole täydellistä ja että vikatilanteita syntyy. Koneet menevät nurin, tietoliikennejohtoja menee poikki, ukonilmat aiheuttavat virheitä tiedonsiirtoon, reitittimistä loppuu puskuritila ja ohjelmistoissa olevat virheet voivat myös vääristää tietoja. Tietoverkkojen suunnittelijoiden tulee ottaa huomioon kolme eri virheiden päätyyppiä.

Ensimmäinen virheluokka on bittivirheet, joissa siis looginen yksi muuttuu nolllaksi tai toisin päin. Virheet johtuvat usein ulkoisista lähteistä kuten ukonilmasta, virtalähteistä tai toisista tiedonsiirroista. Nämä ovat onneksi hyvin vähäisiä, sillä ne vaikuttavat keskimäärin vain joka 10^7 bittiin kuparijohtimella ja vain joka 10^{13} bittiin optisessa kuidussa. [17]

Toinen virheluokka koskee ongelmia pakettitasolla eikä niinkään bittitasolla. Toisin sanoen bitin hukkumisen tai vääristymisen sijaan paketti hukkuu tai vääristyy. Yksi syy tähän on se, että paketti on käyttökelvoton siinä esiintyvän bittivirheen takia ja se joudutaan hylkäämään. Paljon todennäköisempi syy on se, että jossakin niistä noodeista, joiden läpi paketin tulee kulkea, on pakettipuskuri täynnä, eikä paketti näin ollen mahdu enää jonon hännille vaan se joudutaan hylkäämään. Tämä onkin suurin ongelma, joka aiheutuu verkon ruuhkautumisesta. On myös mahdollista, että pakettiliikennettä ohjaava ohjelmisto ohjaa paketin väärälle yhteydelle, jolloin paketti ei koskaan löydä määränpäähänsä, tosin tämä on erittäin epätodennäköistä. Vielä yksi ongelma koskien pakettien hukkumista on se, että on vaikea arvioida, onko jokin paketti hukkunut vai ainoastaan myöhässä.

Kolmannessa virheluokassa noodi tai linkki aiheuttaa virheen. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi fyysisen linkin katkeamista tai paketin kulkutiellä olevan tietokoneen kaatumista. Näitä ongelmia voi aiheuttaa ohjelmisto, joka ei toimi kunnolla,

sähkökatkos tai huolimaton kaivinkoneenkäyttäjä. Nämä virheet eivät kuitenkaan lamausta koko tietoverkkoa, mutta voivat kuitenkin aiheuttaa ongelmia pitkäksi aikaa. Joissain tilanteissa voi olla myös hankalaa päätellä, onko vika jossakin laitteessa pakettien kulkutiellä vai itse fyysisessä siirtotiessä. [17]

Kapiteelin tietoverkon luotettavuutta voidaan pitää hyvänä. Koko yrityksen fyysisen tietoverkon keskimääräinen käytettävyys välillä huhtikuu-syyskuu 2002 oli 99,997%. Ongelmallisimmilla yhteyksillä tämä käytettävyys oli 99,989%, jota voidaan silti pitää hyvänä käytettävyytenä. Nämä luvut saatiin laskettua Kapiteelin tietoverkosta saaduista vikaraporteista. On huomattava, että yllä mainitut luvut eivät täysin korreloi VoIP-puhelinpalvelun käytettävyyden kanssa, sillä ne eivät ota kantaa työasemien luotettavuuteen, eivätkä sisällä tietoverkolle ja työasemille suunniteltujen huoltotöiden aiheuttamia käyttökatkoksia. Toisaalta, vaikka joitain ongelmia esiintyi tietoverkon laitteistoissa, niin Kapiteelin tietoverkkoa voidaan pitää hyvänä alustana VoIP-puhelinliikenteen kuljettamiseen.

4 Käyttöönoton vaikutukset liiketoimintaan

4.1 Yleistä

Perinteisten piirikytkentäisten puhelinpalveluiden siirtymistä integroituihin ääni- ja dataverkkoihin perustellaan usein kustannussyillä. Kaikki eivät olekaan välttämättä huomanneet, että todellista arvoa liiketoiminnalle tuovat kuitenkin integroidun verkon tarjoamat lisäarvopalvelut ja sovellukset, joita voidaan käyttää sen jälkeen, kun tämä kehittyneempi verkko otetaan käyttöön. Tässä kappaleessa käsitellään niitä mahdollisuuksia ja ominaisuuksia, joita yhdistetty data- ja ääniverkko tarjoavat. Asioita tarkastellaan myös Kapiteelin asiakaspalvelun kannalta kappaleessa 4.2. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan uuden järjestelmän kustannuksia (/säästöjä) Kapiteelin tapauksessa, ja sen jälkeen kappaleessa 4.4 katsotaan, mitkä ovat vaikutukset toimistotyöntekijän toimintatapoihin. Lopuksi käydään läpi muita hyötyjä ja haittoja, joita integroitu ääni- ja dataverkko tuo tullessaan.

Datan ja äänen integroiminen on paljon enemmän kuin vain muutos teknisessä infrastruktuurissa. Se mahdollistaa uusien ominaisuuksien kehittämisen huomattavasti nopeammin kuin aikaisemmin ja avaa sovellusten kehitysmahdollisuudet tuhansille riippumattomille ohjelmistovalmistajille [29]. Uudet ohjelmistokomponentit ovat huomattavasti helpommin integroitavissa toimimaan muun VoIP-laitteiston kanssa kuin perinteisessä puhelinvaihdetekniikassa, jossa uudet komponentit tuotteeseen toimittaa poikkeuksetta vaihdevalmistaja. Puhelinvaihteiden valmistajilla ei toisaalta ole suurempaa innostusta kehittää innovatiivisia ratkaisuja puhelinvaihteeseensa, ja näin tekniikan kehitys on hidasta. VoIP-puhelintekniikassa kuka tahansa voi olla kehittämässä uusia ominaisuuksia palvelun parantamiseksi sekä nopeuttamiseksi, mikä kiihdyttää kehitystä VoIP-puolella.

Organisaatiolle VoIP-palvelun käyttö tuo useita hyötyjä, kuten järjestelmien helpomman käyttöönoton, hallinnan ja ylläpidon. IP-puhelinratkaisun avulla organisaatio voi yhdistää eri paikoissa sijaitsevat toimipisteensä ja etäkäyttäjät saman verkon käyttäjiksi. Näin esimerkiksi kotoaan käsin työskentelevät etäkäyttäjät saavat organisaation puhelimen ja yhtenäiset palvelut joustavasti käyttöönsä [29]. VoIP-

tekniikan ollessa vielä nuorta tämä takaa sen, että palvelun käyttöönottaja saa itselleen modernit palvelut ja käyttöliittymät. Tämän lisäksi tekninen kehitys ei maksa VoIP-palvelun käyttäjälle ja silti hän saa aina uusimmat sovellusversiot lähes poikkeuksetta käyttöönsä.

Perinteisiin ratkaisuihin verrattuna VoIP-puhelinpalvelu on huomattavasti helpommin siirrettävissä paikasta toiseen. VoIP-ratkaisulle henkilön sijainti tietoverkon alueella on yhdentekevää. Toisin sanoen on aivan sama käyttääkö omaa henkilökohtaista puhelintasi Oulussa vai Helsingissä. Perinteisessä puhelinratkaisussa henkilön siirtyminen paikasta toiseen on hankalampi hoitaa. Työpisteen siirtyminen vaatii tässä tapauksessa muutostyönä aina aikaa ja rahaa. Perinteisiin puhelinratkaisuihin verrattuna VoIP-ratkaisua on myös helpompi mitata ja raportoida, jolloin saadaan tarkempaa tietoa asiakaskontakteista ja myös kustannusten seuranta paranee. Lisäksi raportit ovat monipuolisempia ja niitä saadaan juuri niistä seikoista, joihin halutaan kiinnittää huomiota.

Ääni- ja dataverkon yhdistäminen mahdollistaa tietokonesovellusten logiikkaa hyväksikäyttäen puheluiden ohjaukset työntekijöiden taitojen mukaan. Puheluita voidaan ohjata esimerkiksi kieliosaamisen tai minkä tahansa muun osaamisen perusteella. Lisäksi voidaan tehdä niin, että kullekin työntekijälle annetaan arvosana esimerkiksi englanninkielen taitamisesta ja puheluita ohjataan tätä tietoa hyväksikäyttäen siten, että puhelua tarjotaan ensin parhaiten englantia taitavalle, ja mikäli hän on jo varattu, puhelua tarjotaan seuraavaksi parhaiten englantia puhuvalle ja niin edelleen.

4.2 Asiakaspalvelu

Kapiteeli on kiinteistösijoitusyhtiö, jolla on hallussaan mittava kiinteistöomaisuus. Tuottoa sijoituksille syntyy onnistuneiden myynti- tai vuokraussopimusten eli asiakkuuksien kautta. Tyytyväinen asiakas on tavallisesti myös tuottava asiakas, joten Kapiteeli onkin määrätietoisesti kehittänyt asiakaspalveluaan. Tässä tehokkaiden ja toimivien järjestelmien käyttö on ensiarvoisen tärkeää.

Kapiteelin asiakaspalvelun yksi keskeisistä tukijaloista on asiakashallintajärjestelmä KASTI (KApiteelin ASIakastietojärjestelmä). Se sisältää mm. tiedot kaikista aikaisemmista asiakaskontakteista, tiedot lehti-ilmoituksista sekä tiedon siitä, millä medially jokin asiakas on aikaisemmin ottanut yhteyttä. Järjestelmä pitää sisällään myös tiedon siitä, kuka toimii asiakkaan yhteyshenkilönä Kapiteelissa. KASTI sisältääkin niin paljon tietoa asiakkaasta ja sopimuksista heidän kanssaan, että mikäli yhteyshenkilö on esimerkiksi lomalla, muut voivat auttaa asiakasta. KASTI:n lisäksi asiakaspalvelun tukena on kiinteistötietokanta, joka toimii yhdessä asiakastietojärjestelmän kanssa.

VoIP-puhelinpalvelun käyttöönotto mahdollistaa asiakashallintajärjestelmän ja puhelinjärjestelmän liittymisen saumattomasti yhteen. Asiakkaan soittaessa VoIP-puhelimeen avautuvat KASTI:ssa asiakkaan tiedot automaattisesti näkyviin, ja näin asiakkaan palveleminen nopeutuu ja tehostuu. Uudella puhelinjärjestelmällä voidaan tarvittaessa liittää käydyt keskustelut asiakastietokantaan ääniliitetiedostoina. Jälkeenpäin voidaan sitten todentaa näiden perusteella, mitä puhelimesta sovittiin. Näiden kahden järjestelmän käyttö yhdessä mahdollistaa paremman tiedon välityksen Kapiteelin sisällä sekä tarkemman tiedon tallentumisen asiakasjärjestelmään. Näiden seikkojen lisäksi uusien asiakkaiden luominen tietokantaan helpottuu.

Uusi puhelinpalvelu tuo asiakaspalvelulle myös muita toimintaa helpottavia ominaisuuksia. Yksi näistä on tavoitettavuustieto. Puhelimeen on integroitu tieto työntekijän lomista ja paluujajoista. Ennen Kapiteelin siirtymistä IP-puhelintekniikan käyttäjäksi ulkoistettu puhelunvälityspalvelu ei tiennyt työntekijöiden lomista eikä sitä milloin he olisivat seuraavan kerran tavoitettavissa, sillä nämä tiedot piti erikseen ilmoittaa soittamalla vaihteeseen ja työntekijät olivat tässä suhteessa hieman laiskoja. Useat asiakkaat soittavat uudestaan, mikäli ei osata kertoa milloin heidän tavoittelemansa henkilö on jälleen tavoitettavissa. Uuden puhelinlogiikan avulla saadaan luotua lisäksi sellainen tavoitettavuusketju, jolla asiakkaat saavat paremmin kiinni asiantuntevan työntekijän. Tämä johtaa siihen, että asiakasta on aina palvelemassa joku Kapiteelin työntekijöistä eikä puhelua hukata. Lisäksi on havaittu, että useimmat asiakkaat eivät pidä puhelinvastaajista, vaan haluavat keskustella ihmisen kanssa. Uudella tekniikalla saadaan ajantasainen, nopeampi ja täsmällisempi asiakaspalvelu, puhelinluettelo ja tavoitettavuustieto kaikille työntekijöille.

Asiakaspalvelijoiden käytettävissä on myös koko henkilökunnan sisältävä puhelinluettelo, josta puhelua voidaan tehdä ja yhdistää ”klikkaa ja soita” -menetelmällä. Toisin sanoen asiakaspalvelijan tarvitsee vain klikata työntekijän nimeä puhelinluettelossa ja tämän jälkeen välitä-painiketta, jolloin puhelu ohjautuu edelleen tavoitellulle työntekijälle. Heille on myös tähän puhelinluetteloon kytketty mahdollisuus lähettää SMS-viestejä Kapiteelin työntekijöille. Mikäli tavoiteltu työntekijä puhuu esimerkiksi toista puhelua, he voivat lähettää tälle tekstiviestillä soittopyynnön. VoIP-puhelinpalvelusovellukseen on myös mahdollista liittää jonot asiakaspalvelun sähköposteja ja fakseja varten. Tämä tehostaa myös näiden kanavien välityksellä lähestyvien asiakkaiden palvelua, kun kaikki kontaktointikanavat ovat integroituina samaan järjestelmään.

Jokainen puhelinpalvelukeskus on erilainen, mutta näille kaikille on tärkeää se etu, että liiketoimintaa voidaan kasvattaa tai supistaa tarpeen mukaan mahdollisesti jopa yksi työasema kerrallaan. Perinteisellä puhelinvaihdetekniikalla puhelinpalvelukeskusten pitää kasvaa suurin harppauksin. Harppauksen koko riippuu siitä, kuinka monta porttia puhelinpalvelukeskuksen pitää ostaa PBX-vaihteeseen kerrallaan. Tämä on suuri haitta taloudellisesti, koska puhelinpalvelukeskusten tulisi olla joustavia ja kyetä kasvamaan ja kutistumaan, kun tarvittavien työpisteiden määrä muuttuu [29]. Monet puhelinpalvelukeskukset eivät pysty kasvamaan pienemmin harppauksin, koska laitteistoja, joita tarvitaan työpöydille puhelinpalvelua varten myydään ainoastaan suurina erinä. Tämä estää puhelinpalvelukeskusten mahdollisuutta kasvaa nopeasti, joka perustuu sesonkiin tai luonnolliseen kasvuun. VoIP-teknologian avulla puhelinkeskuksen koko voi joko kasvaa tai supistua portaattomasti yksi työasema kerrallaan.

Uusi IP-pohjainen puheratkaisu yrityksen asiakaspalvelukeskuksessa mahdollistaa myös taitoihin pohjautuvan puheluiden reitityksen. Puhelut voidaan ohjata sopivalle asiakaspalvelijalle, joka perustuu tämän teknisiin taitoihin, kieleen tai mihin tahansa muuhun taitoon. Tämä puheluiden jaottelu kasvattaa nopeutta, jolla puhelut käsitellään. Puhelinpalvelijoilla voi olla lisäksi tavoitteita esimerkiksi puhelumäärien ja puheajan suhteen. Näitä tietoja voidaan seurata VoIP-puhelinratkaisussa reaaliajassa. Tämä johtaa siihen, että kukin työntekijä tietää, mitä päivän aikana on tullut tehtyä. Hyvä seuranta auttaa työn ohjaamista ja kehittämistä, sillä työnjohto pystyy seuraamaan toimintaa

reaaliajassa yksikkö- ja yksilötasolla. Järjestelmä auttaa myös tunnistamaan koulutustarpeita [30].

4.3 Kustannukset

Otettaessa käyttöön uutta järjestelmää herää aina lopulta kysymys siitä, mitkä ovat tämän järjestelmän kustannukset ja saavutetaanko uudella järjestelmällä säästöjä tai lisätuottoja. IP-pohjaista puhelinjärjestelmää on usein pidetty taloudellisempana vaihtoehtona verrattuna perinteiseen puhelinverkkoratkaisuun. Tällaisia väitteitä ovat esittäneet muun muassa IP-puhelinlaitteiden ja palvelujen tarjoajat kuten Cisco Systems. Myös aivan päinvastaisia laskelmia on tullut esiin yliopistojen ja korkeakoulujen opinnäytteissä. Näiden opinnäytteiden laskelmissa ei tosin aina oteta mukaan kaikkia muuttujia, jotka vaikuttavat uuden järjestelmän todellisiin lopullisiin kustannuksiin. Hyvänä esimerkkinä tästä on se, että uuden puhelinliikenteen aiheuttamia tietoverkon parannuskustannuksia ei välttämättä oteta mukaan laskuihin, koska se ei aivan suoraan viittaa puhelinkuluihin.

Seuraavan laskelman peruslähtökohtana ovat olleet Kapiteelin puhelinjärjestelmän todelliset kustannukset kokonaisuudessaan. Laskelmissa otettiin huomioon puhelinjärjestelmän kulut usean kuukauden ajalta (11 kk) ja näistä laskettiin keskimääräiset kuukausi- ja vuosikulut kullekin puhelinjärjestelmän komponentille. Puhelinjärjestelmään liittyvät kulut jaettiin useampaan ryhmään, jotka olivat: puheluliikenne, järjestelmämaksut, puhelunvälityspalvelun hoito, muut puhelinjärjestelmäkulut (mm. palvelunumerot) sekä puhelinvaihdelaiteistot ja -verkko. Laskelmissa oletettiin, että puhelinliikenteen profiili pysyisi ennallaan myös puhelinjärjestelmän vaihtamisen jälkeen. Laskelmat lähtivät myös siitä, että tarkastelujakson alussa yrityksellä olisi toiminnassa oleva vaihde joka jakson aikana vaihdettaisiin IP-pohjaiseksi. Oletuksena oli myös, että vanha Meridian-puhelinvaihde purettaisiin tarkastelujakson aikana.

Yllä olevien oletusten perusteella tehtyjen laskelmien tuloksiksi saatiin puhelinjärjestelmän komponenteittain taulukon 5 mukaiset kustannussäästöt.

Puhelinjärjestelmäkomponentti:	Kustannussäästö:
Puheluliikenne	9,6 %
Järjestelmämaksut	2,1 %
Puhelinvälityspalvelun hoito	28,1 %
Puhelinvaihdelaiteistot ja -verkko	18,5 %

Taulukko 5. Kustannussäästöt puhelinjärjestelmäkomponenteittain

Yleisesti oletetaan, että IP-pohjaisen puhelinjärjestelmän kustannussäästöt tulisivat nimenomaan puheluliikenteestä. Näin ei kuitenkaan käy (ainakaan Kapiteelin tapauksessa), vaan suurimmat säästöt tulevat Meridian-puhelinvaihteen poistumisesta ja puhelunvälityspalvelun ottamisesta osaksi Tampereen toimipisteen asiakaspalvelukeskusta. Puheluliikenteessä säästöjä syntyy yrityksen sisäisten puhelujen tullessa täysin maksuttomaksi, erityisesti sisäisten kaukopuhelujen osalta. Myös Kapiteelin yritykseen soitetuista puheluista saadaan säästöjä, kun puhelut voidaan reitittää tietoverkkoja pitkin ilman kaukopuhelumaksuja.

Järjestelmämaksut sisältävät mm. Kapiteelin valtakunnallisen yrityksen numeron ja koska tämä päätettiin säilyttää, niin säästöjä ei juurikaan synny. Järjestelmämaksujen muutaman prosentin kustannussäästöt syntyvät pienten myyntiyrityksien ISDN-yhteyksien purkamisesta.

IP-pohjaisen puhelinjärjestelmän käyttöönotto mahdollistaa Kapiteelille puhelunvälityspalvelun hoitamisen itse. Perinteiseen puhelinvaihdetekniikkaan pohjautuvassa Meridian-järjestelmässä tämä toiminto oli ulkoistettu. Parantunut puhelulogiikka ja resurssien hallinta mahdollistavat kuitenkin vaihteenhoidon itse, osana jo itsellä olevaa asiakaspalvelukeskuksen toimintaa. Ajatuksena oli siis hoitaa nykyisen puhelunvälityspalvelun puhelukuorma (~150 puhelua/päivä) itse, joten nämä kustannukset häviäisivät suurimmaksi osaksi. Myöhemmin palataan vielä kohtaan, jossa vertaillaan kuluja eri vaihteenhoitotavoilla. Kustannuslaskelmat tehtiin puhelunvälityspalvelun osalta kahdella eri tavalla. Taulukossa 5 näkyvät säästöt siinä tapauksessa, että vaihteenhoitoon palkataan pysyvästi yksi henkilö oletusarvoisesti 2000 euron kuukausipalkalla.

Puhelinvaihdelaiteistojen ja -verkkojen kustannussäästöt syntyvät vanhasta, Meridian-puhelinvaihteesta luopumisesta ja sen korvaamisesta IP-puhelinpalvelulla. Suurimmat

euromääräiset säästöt syntyvät juuri näistä laitteistoista luopumalla, sillä puhelinvaihteiden laiteylläpidot, yhteydet yleiseen puhelinverkkoon ja merkinantolinjat aiheuttivat yli 30% Kapiteelin puhelinjärjestelmän kuluista. Näiden laitteistojen tilalle saadaan kokonaisvaltainen puhelinpalvelu, joka kattaa laitteistot ja laiteylläpidon. Uuden järjestelmän kuluihin lisättiin IP-puhelinratkaisun saamiseksi parannellun tietoverkon kustannukset sekä yksi 30B+D-yhteys yleiseen puhelinverkkoon, joka tulee palveluntarjoajan tiloihin.

Edellä käytiin läpi puhelinverkon komponentit, joista kaikkien muiden paitsi puhelinjärjestelmäkulujen (palvelunumerot jne.) osalta saatiin kustannussäästöjä. Kokonaisjärjestelmän kustannussäästöt yllä selostetulla tavalla ovat 13,3 %, mutta mikäli puhelunvälityspalvelu hoidettaisiin kokonaisuudessaan itse säästöt olisivat koko järjestelmän osalta 22,9 %. Laskelmissa siis oletettiin, että puheluiden profiili ja määrä pysyvät ennallaan. Palvelun odotetusta paranemisesta tulevat hyödyt eivät ole missään muodossa mukana laskelmissa.

4.3.1 Takaisinmaksuaika ja nettonykyarvo

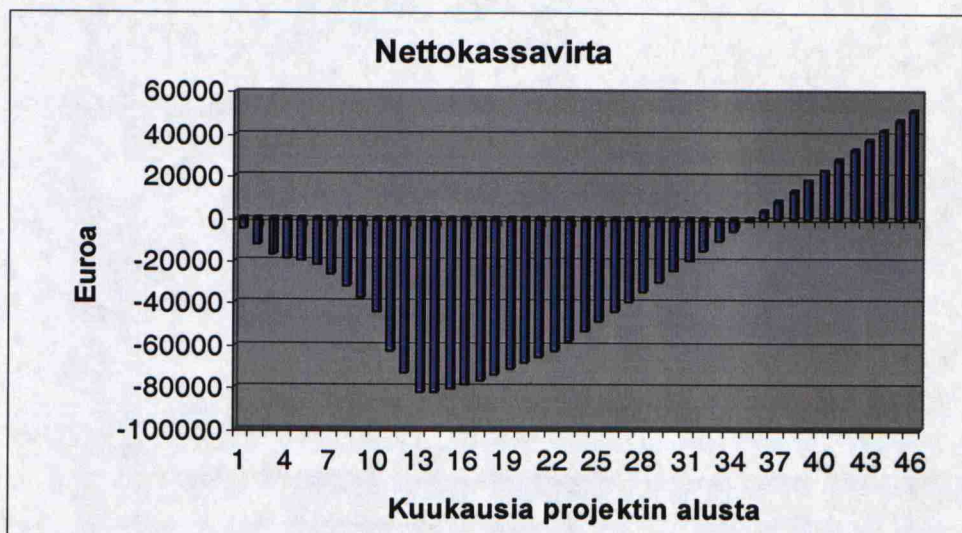
Monet yritykset edellyttävät, että kuhunkin projektiin sijoitetut rahat saadaan tietyllä aikajänteellä tulevaisuudessa takaisin. Takaisinmaksuaika kertookin päättäjille, kuinka nopeasti projekti tuottaa takaisin vastaavan määrän rahaa kuin projektiin kulutettiin [31]. Tämä tunnusluku ei kuitenkaan yksinään riitä kertomaan todellista tilannetta, sillä voihan olla, että projekti aluksi tuottaa hyvin ja lopulta ei juuri mitään tai toisaalta projekti voi aluksi tuottaa rahaa hitaasti ja vasta myöhemmin tuottaa enemmän. Tämän takia takaisinmaksuajan ohella on syytä selvittää projektin nettonykyarvo (NPV).

Takaisinmaksuajan ja NPV:n laskemiseksi keräsimme tiedot kaikista kuluista projektin aloittamisesta alkaen. Kuluja syntyi muun muassa:

- Uusien puhelinlaitteiden hankinnasta
- Ohjelmistojen, ajurien ja puhelinlaitteiden asennuksista
- Koulutuksesta
- Tietoverkon parantamisesta
- Vanhan puhelinvaihteen ja uuden järjestelmän päällekkäisyydestä

- Projektihenkilöiden palkoista

Nämä huomioitiin kuluina kassavirtalaskelmassa sitä mukaa kun niitä uskottiin syntyvän. Edellisessä kappaleessa mainitut säästöt laskettiin tuottoina mukaan laskelmiin aluksi hyvin vähäisinä, suurimmaksi osaksi ajateltuna vanhan vaihteen purkamishetkenä, ja lopulta kokonaisuudessaan puolen vuoden kuluttua koko järjestelmän käyttöönotosta. Laskettujen kulujen ja säästöjen perusteella saatiin kassavirta ja projektin alusta alkaen nettokassavirta. Laskelmia tehtiin aina vuoden 2004 joulukuuhun saakka. Kuvassa 10 voidaan nähdä nettokassavirta projektin alusta alkaen. Kuvassa näkyy selvästi IP-puhelinjärjestelmän testausvaihe (8 ensimmäistä kuukautta), sillä sinä aikana kulut ovat vielä vähäisiä. Käyttöönottovaiheessa kulut kasvavat selvästi ja vasta muutama kuukausi käyttöönoton jälkeen kassavirta kääntyy positiiviseen suuntaan.



Kuva 10. Projektin alusta alkaen laskettu nettokassavirta

Takaisinmaksuajankohdan ja nettonykyarvon laskemiseksi luotiin kolme eri skenaariota puhelunvälityspalvelun suorittamisesta. Nämä eri vaihtoehdot olivat:

1. Kapiteeli hoitaa vaihteenhoidon itse asiakaspalvelukeskuksen ja muutaman sihteerin voimin.
2. Vaihteenhoitoa varten palkataan vaihteenhoitaja yhdeksi vuodeksi, jonka jälkeen vastuu siirtyy asiakaspalvelulle ja sihteeereille.
3. Puhelunvälityspalvelu varten palkataan pysyvästi yksi uusi henkilö.

Takaisinmaksuajan alkuajankohdaksi valittiin koko järjestelmän käyttöönottamisen aloituspäivämäärä, eikä suinkaan koko projektin aloituspäivämäärä. Tämä sen takia, että koko pilotointivaiheen ajan oli mahdollisuus keskeyttää projekti ja todelliset kustannukset syntyivät joka tapauksessa vasta käyttöönottopäätöksen jälkeen. Nettonykyarvo saadaan laskemalla tulevat kassavirrat ja diskonttaamalla ne nykypäivään käyttäen korkona 5 prosenttia. Takaisinmaksuajaksi ja NPV:ksi saatiin näissä eri skenaarioissa taulukon 6 mukaiset tulokset.

Tilanne:	Takaisinmaksuaika (kk)	Nettonykyarvo (€)
Vaihteenhoitajaa ei tarvita	20	910 100
Vaihteenhoitaja palkataan vuodeksi	25	888 400
Vaihteenhoitaja pysyvästi	33	493 500

Taulukko 6. Takaisinmaksuaika ja NPV

Laskelmista huomataan, että väliaikaisen vaihteenhoitajan palkkaaminen ei juurikaan vaikuta kustannussäästöihin pitkällä aikajuvoksulla. Takaisinmaksuaikakin on kohtuullinen, eli noin 2 vuotta.

4.4 Toimistotyöntekijä

Uusien järjestelmien käyttöönottaminen ei tapahdu yrityksissä yleensä aivan ongelmitta. Uuden järjestelmän tulisi olla merkittävästi aikaisempaa parempi ja helppokäyttöinen tai siihen tulisi saada riittävä koulutus ennen käyttöönottoa. Muuten työntekijät tulevat vastustamaan uutta järjestelmää ja tyytyvät mieluummin vanhaan ja hyväksi todettuun ratkaisuun, mikä esimerkiksi Kapiteelissa tarkoittaa siirtymistä matkapuhelimen käyttöön. Tässä kappaleessa käydään läpi mitä muutoksia IP-pohjaisen puhelinratkaisun käyttöönotto tuo tullessaan ns. tavalliselle työntekijälle. Ensin käydään läpi mitä muutoksia palveluihin tulee puhelimen osalta, ja lopuksi Kapiteelin työntekijöiden käyttökokemuksia IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönoton alkuvaiheesta.

Aiemmin Kapiteelin työntekijöiden käytössä ollut perinteinen Meridian-puhelin sisälsi peruspuhelin toimintojen lisäksi soitonsiirron, poiminnan ja puhelun ohjaamisen toiseen alanumeroon. Yrityksen sisällä voitiin muodostaa poimintaryhmiä, joiden jäsenet

saattoivat vastata kollegojensa puheluihin omalta puhelimeltaan, mikäli he eivät olleet paikalla. IP-pohjaisen puhelinratkaisu toi mukanaan mm. seuraavia lisäominaisuuksia:

- ✖ Puhelimeen integroitu puhelinluettelo
(henkilökunta/henkilökohtainen/ulkopuoliset)
- ✖ Tarkat puhelutiedot (vastaamatta jääneet/vastatut/soitetut)
- ✖ Puheposti
- ✖ Tekstiviestien lähetys

Perinteisen toimistopuhelimen toimintoihin saatiin tässä uudessa ratkaisussa siis matkapuhelinpuolelta tuttuja ominaisuuksia. Jokainen sai halutessaan käyttöönsä puhepostilaatikon, jossa saapuneista puheposteista tulee ilmoitus sähköpostilla ja/tai tekstiviestillä. Puhepostit voidaan kuunnella tämän jälkeen joko sähköpostilla tai selainpohjaisella webliittymällä. IP-pohjaisen puhelinratkaisun lisäominaisuuksiin kuuluu myös oman käyttäjäprofiilin hallinta puhelujen siirtojen osalta. Toisin sanoen voidaan valita siirretäänkö puhelut toiseen puhelimeen joko viivästetysti (esim. 20 sekunnin kuluttua) tai heti.

IP-pohjainen puhelinratkaisu sopii hyvin myös sellaisille yrityksille, joissa työntekijän työskentelypiste ei ole kiinteä. Tällaisissa tapauksissa puhelut on muutoin miltei väistämättä tehtävä matkapuhelimella. IP-pohjaisessa ratkaisussa yksittäinen alanumero on sidottu käyttäjätunnukseen eikä paikkaan, joten käyttäjä voi kirjautua palveluun miltä tahansa työasemalta missä tahansa yrityksen lähiverkon alueella. Sisäänkirjautumisessa järjestelmä lataa käyttäjälle hänelle määritellyn käyttöliittymän ja palvelut.

Selainpohjainen hakemisto puhelinkäyttöliittymän ohella mahdollistaa ns. ”klikkaa ja soita” –toiminnon. Tällä tarkoitetaan sitä, että puhelu voidaan tehdä klikkaamalla vain halutun henkilön nimeä puhelinluettelosta. Tämä helpottaa puheluiden tekemistä etenkin suuremmissa organisaatioissa, joissa kaikkien lyhytnumeroiden muistaminen ei ole realistista ja toisaalta vähentää vaivaa etsiä numerotieto jollain muulla tavalla. Puhelu voidaan soittaa myös itse puhelinkäyttöliittymästä pelkän nimen perusteella, jolloin numerokenttään ei kirjoitetaakaan numeroa, vaan henkilön nimi (joka on myös hakemistossa) ja puhelin etsii käyttäjän numeron ja soittaa siihen.

Kapiteelin VoIP-järjestelmän koekäyttö alkoi 25.2.2002, jolloin yrityksen talous- ja tietohallinto-yksikkö ryhtyi testaamaan järjestelmää. Yksikön henkilöstö vastaa reilua 10% koko Kapiteelin henkilöstöstä. Heille järjestettiin kysely uuden puhelinjärjestelmän käytön vaivattomuudesta, koetusta äänenlaadusta, luottamuksesta uuteen puhelinjärjestelmään, helppokäyttöisyydestä ja puhelimen toiminnoista sekä kolme viikkoa että 12 viikkoa testaamisen aloittamisen jälkeen. Kyselyssä kävi ilmi, että kolmen ensimmäisen viikon jälkeen vain 63% koki oppineensa käyttämään puhelinta kunnolla. Ongelmia esiintyi aluksi etenkin äänenvoimakkuuden säätämisen kanssa. Jälkimmäisessä kyselyssä kaikki olivat oppineet käyttämään puhelinta. Teknisten ongelmien takia järjestelmää ei aluksi pidetty virheettömänä, mutta kun ne saatiin ratkaistua järjestelmää pidettiin toiminnaltaan moitteettomana ja luotettavana. Se missä mielipiteet suuntautuivat selkeästi uutta järjestelmää vastaan oli koettu äänenlaatu. Monet valittivat hiljaista tai sameaa ääntä. Joku oli havainnut jopa katkoksia puheessa. Toinen seikka joka askarrutti kyselyyn vastanneita oli poiminta-toiminnon puuttuminen uudesta puhelinjärjestelmästä. Miltei puolet koekäyttöön osallistuneista koki kaipaavansa tätä vanhan järjestelmän ominaisuutta.

4.5 Muita hyötyjä ja haittoja

Yksi vielä tarkemmin käsittelemätön hyöty Kapiteelille uuden puhelinjärjestelmän käyttöönotosta on puhelunvälityspalvelun siirtyminen itse hoidettavaksi osana asiakaspalvelukeskusta. Aikaisemmin tämä toiminto oli ulkoistettu ja vaihteeseen tulleista puheluista 22% jäi yhdistämättä, koska vaihteenhoitajat eivät tunteneet yrityksen työntekijöitä eivätkä tienneet, kuka toinen voisi auttaa asiakasta, mikäli tavoiteltu henkilö ei ollut tavoitettavissa. Näiden puutteiden voitiin olettaa korjaantuvan, kun puhelunvälityspalvelu hoidettaisiin itse. VoIP-järjestelmän myötä ainakin mahdollisuus löytää joku toinen ihminen palvelemaan asiakasta parani huomattavasti, kun omat ihmiset tunsivat henkilökunnan paremmin. Johtavana ajatuksena oli yhdistää puhelunvälityspalvelu osaksi asiakaspalvelukeskusta. Tämän uskotaan tuovan seuraavat edut:

- ◆ Asiakkaille kokonaisvaltainen palvelu samasta paikasta
- ◆ Tavoitettavuustiedon avulla henkilöiden parempi tavoitettavuus

- ✱ Oman henkilökunnan tunteminen
 - tiedetään kuka osaa auttaa
- ✱ Ihmiset eivät viitsineet ilmoittaa vaihteelle poissaoloistaan
 - kun tiedon voi lisätä työasemalta, tilanne voi parantua

Uuden puhelinjärjestelmän käyttöönotto ei kuitenkaan ole pelkkää voittokulkua, vaan matkalla on monta mutkaa. Yksi suurimmista haasteista käyttöönotossa on kulttuurimuutos. Ajatus perinteisen puhelinkojeen vaihtamisesta työaseman kyljessä olevaan luuriin voi tuntua joistakin ihmisistä aluksi erittäin vaikealta. Vaihdettaessa puhelinjärjestelmää IP-pohjaiseksi voidaankin jo ennalta varautua vastahakoisuuteen uuden järjestelmän käyttöönotossa. Tämän takia yrityksen johdon tulee seistä tämän järjestelmän takana ja antaa tukensa käyttöönotossa (ja sen jälkeen). Vaarana on, että yhä useampi ryhtyy käyttämään pöytäpuhelimien sijasta matkapuhelinta. Suunnittelemalla siirtymäkausi huolellisesti, ja siirtymällä hallitusti uuden järjestelmän käyttöön mahdollistetaan muutoksen onnistuminen aiotulla tavalla.

Toinen ongelma IP-pohjaisessa puheratkaisussa on puheenlaadun pieni heikkeneminen. G.729A-koodekin aiheuttamalle puheenlaadun heikkenemiselle ei voida mitään, mutta varaamalla riittävästi resursseja tietoverkkoon ja mahdollisesti priorisoimalla liikennettä voidaan parantaa äänenlaatua niiltä osin, kun se riippuu tietoverkon ominaisuuksista. Puheenlaadun heikkenemiseen liittyy oleellisesti myös VoIP-tekniikan aiheuttama viive. Viive IP-puhelintekniikassa kasvaa aina huomattavasti suuremmaksi kuin perinteisessä puhelintekniikassa. Näistä seikoista puhutaan enemmän seuraavassa kappaleessa.

5 Puheenlaadun mittaukset

Tässä luvussa esitellään IP-puhelinpalvelun laatumittauksia. Ensimmäisessä kappaleessa käsitellään millä tavoin mittaukset suoritetaan. Toisessa kappaleessa kuvataan käytetty mittausjärjestely. Kolmannessa kappaleessa tarkastellaan saatuja mittaustuloksia ja lopuksi seuraa pohdintaosuus. Suoritettujen mittausten tavoitteena oli:

- ✖ Oppia ymmärtämään IP-pohjaisen puheratkaisun viiveen ja viiveen vaihtelun luonnetta todellisessa yrityksen tietoverkossa
- ✖ Mitata lopullinen päästä päähän -viive, viiveen vaihtelu ja pakettihukka eri IP-puhelinlaitteilla
- ✖ Saatujen tulosten perusteella määritellä IP-puhelujen MOS-arvo

5.1 Menetelmät

Mittausten suorittamisessa käytetyt laitteistot ja ohjelmistot alkaen käyttöjärjestelmistä on syytä valita aina kunkin mittauksen kohdalla erikseen ottaen huomioon sen, mitä tarkoitusta varten mittauksia tehdään. Mikäli tehdään tieteellisiä mittauksia, joiden tulee olla toistettavissa, tarvitaan laitteisto ja ohjelmistot, jotka ovat helposti saatavilla ja joissa tulee olla hyvät mahdollisuudet muuttaa mittauksen parametreja. Tässä tapauksessa tarkoituksena oli lähinnä tutkia, kuinka hyvänlaatuista ääntä voidaan kuljettaa palveluntarjoajan ratkaisussa ja tyydyttääkö se Kapiteelin tarpeita. Tämän takia mittauksissa käytettävät laitteistot valittiin siten, että ne vastasivat mahdollisimman hyvin tilannetta sitten, kun palvelu otettaisiin kokonaisuudessaan käyttöön koko yrityksessä.

Puheluiden tekemiseen tarvittavia ohjelmistoja on tarjolla runsaasti. Suuri osa näistä on ilmaisia, ja niiden asetuksia voi muuttaa helposti ja monipuolisesti. Tekemissämme mittauksissa käytimme puheluiden tekemiseen palveluun kuuluvaa Wicom Phone -ohjelmistopuhelinta.

Lähetetyt ja vastaanotetut IP-paketit voidaan tallettaa erilaisilla ohjelmilla, kuten Fireberd DNA-323:lla. Nämä ohjelmat kykenevät tallettamaan kaiken informaation sekä

lähetetyistä että vastaanotetuista paketeista, ja niitä voidaan analysoida jälkeenpäin. Tällä tavalla saadaan selville mm. viiveen vaihtelu ja pakettihukka.

Puhelinlaitteita, joita käytetään ohjelmistopuhelimien kanssa on olemassa kaksi päätyyppiä. Toiset niistä kytketään suoraan tietokoneen äänikorttiin ja toiset tietokoneen USB-väylään. USB-väylään kytkettävän puhelinmallin etuna on se, että silloin ei tarvita erillistä äänikorttia tietokoneeseen ja sen asentaminen on helpompaa. Markkinoilla on tarjolla puhelinkeskuksissa usein käytettyjen sankaluurien lisäksi myös perinteisen puhelinluurin näköisiä laitteita. Mittauksissa käytimme ohjelmistopuhelimen käytön yhteydessä sekä Audibit U160 –luuria sekä Labtech Axis 712 –sankaluuria.

5.2 Mittausjärjestely

Mittauksissa keskityimme saamaan selville lähinnä viiveen erityispiirteitä aidossa IP-puhelinverkossa. Tämän takia puheluiden muodostamiseen käytetty laitteisto valittiin siten, että se vastaisi mahdollisimman hyvin tavallisen työntekijän tulevaa työasemaa.

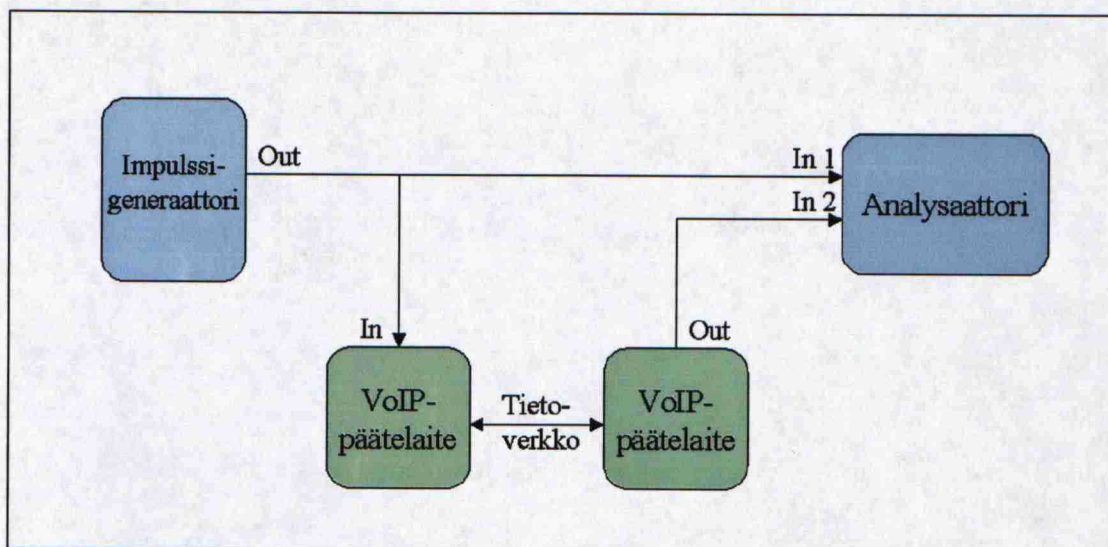
Laitteisto:	
Prosessori	Intel Pentium II 450MHz
Muisti	256MB
Käyttöjärjestelmä	Microsoft Windows 2000 Pro SP2
Verkkokortti	3Com 3C918 Fast Ethernet
VoIP client	Wicom Phone 3.0
VoIP-puhelinlaite	Audibit U160 / Labtech Axis 712
Äänikoodekki	G.729A

Taulukko 7. Puheluiden muodostamiseen käytetty laitteisto

Mittauksissa käytettiin taulukossa 7 esiteltyä toimisto-PC:tä, joka oli kytketty Kapiteelin kytkentäiseen 100BaseT Ethernet –lähiverkkoon. Puheluiden tekemiseen käytettiin palveluntarjoajan Wicom Phone –sovellusta ja puhelinlaitteina sekä luurimallista Audibit 160 –puhelinta että Labtech:in sankaluuria. Lisäksi puheluiden tekemiseen käytettiin Tiptel 200 IP-pöytäpuhelinta sekä Symbol Technologies:in WLAN-puhelinta.

Päästä päähän –viive saatiin mitattua liittämällä impulssigeneraattori puhelun tekevään VoIP-päätelaitteeseen sekä analysaattoriin. Tämä impulssi kulki sitten tietoverkkoa

pitkin toiseen VoIP-päätelaitteeseen, jonka ulostulosignaali johdettiin edelleen analyysoittoriin. Tämän jälkeen päästä päähän –viive voitiin lukea analyysoittorista. Mittausjärjestely on nähtävissä myös kuvassa 11.



Kuva 11. Päästä päähän -viiveen mittausjärjestely

Viiveen vaihtelun sekä pakettihukan analysoimiseksi oli samaan lähiverkkoon kytketty työasema, johon oli asennettu Fireberd DNA-323 –analysointiohjelmisto, joka on erikoistunut RTP-pakettien analysointiin. Sekä puheen vastaanottamiseen käytetty VoIP-päätelaite että analyysoittorikone kytkettiin samaan lähiverkon kytkimeen. Tämän lisäksi kyseinen kytkin ohjelmoitiin siten, että analyysoittorikone kykeni lukemaan kaiken liikenteen, joka kulki puhetta vastaanottavaan koneeseen ja sieltä pois päin. Näin pystyttiin tallettamaan kaikki vastaanotetut puhepaketit ja analysoimaan ne ohjelmistolla. Viiveen vaihtelu saatiin laskettua ohjelmiston keräämien tietojen pohjalta siten, että ensin laskettiin saapuneiden puhepakettien keskimääräinen aikaero toisiinsa nähden (yhden puhepaketin koko) ja sen jälkeen näiden saapumisaikojen keskimääräinen vaihtelu (ts. viiveen vaihtelu). Pakettihukan ohjelmisto laski käyttäen hyväksi RTP-protokollan sequence number -otsikkokenttää.

Mittaukset äänenlaadun selvittämiseksi suoritettiin aiemmin mainituilla kolmella päätelaitteella, siten että kukin näistä päätelaitteista toimi vuorollaan sekä puhelun tekijänä että vastaanottajana. Yhteensä puheluita tehtiin siis yhdeksällä eri kokoonpanolla ja kussakin tapauksessa viisi kertaa.

5.3 Mittaustulokset

Ensimmäinen alkuperäinen mittaustavoite oli tutkia viivettä IP-puheluissa. Tulokset olivat kutakuinkin odotettuja ja ne on esitetty taulukossa 8 (mittaustarkkuus ± 1 ms).

		B-tilaaja		
		Wicom Phone	TIPTTEL 200	Symbol WLAN
A-tilaaja	Wicom Phone	202-245 ms	134-165 ms	184-240 ms
	TIPTTEL 200	195-222 ms	99-110 ms	108-169 ms
	Symbol WLAN	233-262 ms	159-167 ms	204-237 ms

Taulukko 8. Päästä päähän -viive

Pienimmät viiveet saatiin kahden Tiptel 200 -pöytäpuhelimien välillä ja minimiviiveeksi saatiin 99 millisekuntia. Kahden WLAN-puhelimien välillä viive oli yli kaksinkertainen, mutta on huomattava että mitatut WLAN-puhelimet lähettävät puhepaketteja siten, että ne liittävätkä kaksi puhepakettia yhteen (puhepaketin yhteiskoko 60 ms) alentaakseen bittinopeutta, kun sekä Tiptel-pöytäpuhelin että Wicom Phone -ohjelmistopuhelin käyttävät 30 ms puhepaketteja. Kapiteelin kannalta ehkä mielenkiintoisin tulos oli viive kahden ohjelmistopuhelimien välillä. Tässä tapauksessa viive vaihteli 202 ms ja 245 ms välillä.

Viiveen vaihtelun ominaispiirteet olivat erittäin mielenkiintoisia. Aivan puhelun alussa viiveen vaihtelu oli hyvin voimakasta. Viiveen vaihtelun maksimiarvo oli 2,87 ms ja se saatiin kahden WLAN-puhelimien välillä. Viiveen vaihtelun keskiarvo oli 1,75 ms ja minimiarvo 0,62 ms. Tämä pienin viiveen vaihtelu tapahtui kahden Tiptel-pöytäpuhelimien välillä.

Saatujen tulosten perusteella pyrittiin ymmärtämään paremmin viiveen muodostumista aidossa IP-puheverkossa. Parhaimman lähtökohdan tälle tarkastelulle antavat taulukossa 8 esitetyt tulokset, sillä näiden perusteella voidaan päätellä mm. kunkin VoIP-päätelaitteen käyttämät lähetys- ja vastaanottopuskurit. Katsotaan kuitenkin ensin taulukkoa 9, jossa on esitetty pakettiverkossa välitettävässä puheessa esiintyviä viivekomponentteja.

Viivekomponentti	Selitys	Arvioitu viive
Audiolaitteisto ja ajurit	Ajurit käsittelevät ääntä paketeittain. Yhdessä laitteiston kanssa ajuri voi käyttää puskurointia.	30-90 ms
Koodausprosessi	Koostuu puhepaketin koosta ja mahdollisesta 'look-ahead' ajasta. Mukana on lisäksi puheen koodaamiseen kuluva aika. (Kaava 6.)	45-50 ms
Käyttöjärjestelmä	Työaseman kuormituksesta riippuva viive.	0-10 ms
Verkkokortti ja ajurit	Verkkokortin ja sen ajurin ei tulisi aiheuttaa suurta viivettä.	0-5 ms
Verkko	Suomen sisällä tyypillisesti alle 25ms ja Euroopassa alle 100ms.	0-20 ms
Lähetys- ja vastaanottopuskurit	Puskureilla pyritään ehkäisemään viiveen vaihtelusta aiheutuvaa puhepakettien hukkumista.	30-90 ms
YHTEENSÄ:		105-265 ms

Taulukko 9. Puheensiirron viivekomponentit pakettiverkossa

Vertailtaessa taulukoita 8 ja 9 huomaamme, että kaavaan 6 pohjautuva koodausprosessin kesto aika ei aivan pidä paikkaansa, sillä saatujen tulosten perusteella se olisi pienimmillään ollut 39 ms. Taulukoista voidaan lisäksi päätellä kunkin VoIP-päätelaitteen käyttämät lähetys- ja vastaanottopuskurit sekä audiolaitteiden ja -ajureiden aiheuttamat viiveet. Havaitaan, että Tiptel-pöytäpuhelin ei käytä lainkaan lähetyspuskureita, kun taas sekä WLAN-puhelin että ohjelmistopuhelin käyttävät joko yhden tai kahden paketin mittaista lähetyspuskuria. Lisäksi havaitaan, että jokainen päätelaite käyttää joko yhden tai kahden paketin mittaista vastaanottopuskuria. Audiolaitteet- ja ajurit aiheuttavat Tiptel-pöytäpuhelimessa sekä WLAN-puhelimessa yhden paketin mittaisen viiveen. Ohjelmistopuhelimessa, joka toimii Windows 2000-käyttöjärjestelmän päällä, tämä viive on kolmen puhepaketin mittainen [32].

Mittauksissa ei hukkunut lainkaan puhepaketteja. Tämä on erittäin hyvä tulos, sillä mittauksissa käytetty koodekki G.729A säilyttää hyvän äänenlaadun vielä 0,5% pakettihukkaan asti. Voidaan siis todeta, että pakettihukka ei heikentänyt äänenlaatua lainkaan.

Saatujen mittauksien perusteella saadaan laskettua puheenlaatua vastaava R-arvo, johon on vaikuttanut heikentävästi viive, koodekki ja pakettihukka. Mitattu R-arvo voidaan muuntaa laskutoimitusten jälkeen MOS-, GoB- ja PoW-arvoiksi kaavojen 2, 4 ja 5 avulla. Taulukossa 10 on esitelty lopulliset tulokset.

	R	MOS	%GOB	%POW
MIN	67,9	3,5	67	7
MAX	81,2	4,1	90	1
AVG	76,0	3,9	85	2,5

Taulukko 10. Saadut tulokset MOS-, GoB- ja PoW-asteikolla

Paras MOS-arvo (4,1) saatiin kahden Tiptel-pöytäpuhelimien välillä ja heikoin MOS-arvo (3,5) WLAN-puhelimien ja ohjelmistopuhelimien välillä. Laskettaessa keskiarvoa MOS-arvolle, otettiin huomioon kaikki tehdyt mittaukset.

5.4 Pohdinnat

Kahden Wicom Phone -ohjelmistopuhelimien välisissä puhelumittauksissa saatiin tulokseksi puheen päästä päähän -viiveelle 202-245 millisekuntia. Ensi silmäyksellä tämä vaikuttaa varsin suurelta viiveeltä ja voidaan kuvitella, että puhuminen näin suuren viiveen aiheuttaman puhelinyhteyden päästä olisi mahdotonta. Kirjallisuudessa tätä mielikuvaa korostetaan entisestään, kun kerrotaan, että raja keskustelun luontevuudelle sijaitsee noin 175 ms viiveen kohdalla. Sekä aiemmin mainituissa mittauksissa että Kapiteelin VoIP-projektin pilotointivaiheessa ei kuitenkaan tämän viiveen olemassaoloa koettu häiritseväksi. Näyttää siltä, että perinteiselle suomalaiselle verkkaiselle puherytmille tämä jopa 245 ms viive ei aiheuta ongelmia. Tilanne voisi olla aivan toisenlainen jossain muussa maassa ja kulttuurissa.

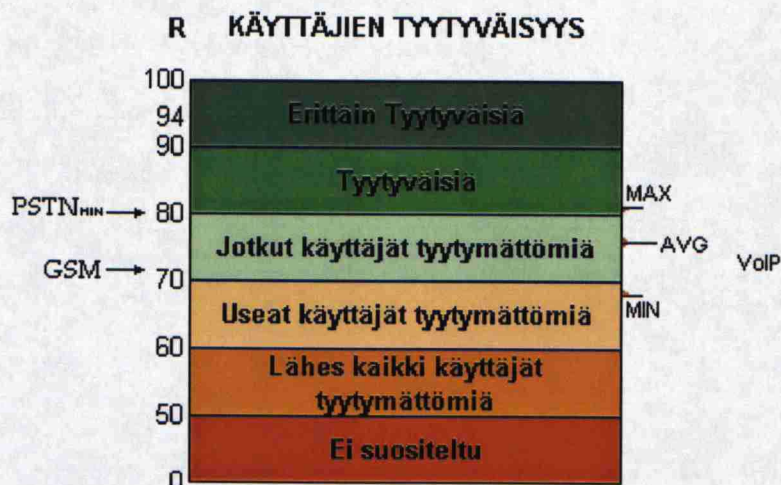
Tiptel –pöytäpuhelimien osalta saadut mittaustulokset olivat erittäin rohkaisevia, sillä parhaimmillaan viive oli alle 100ms. Tuntuu siltä, että palveluntarjoajan olisikin helppo pienentää myös ohjelmistopuhelimien viivettä hyvin yksinkertaisella toimenpiteellä – muuttamalla puhepakettien koko 20 millisekuntiin. Käyttäen samoja laskuperusteita kuin taulukossa 9 viive puheyhteydellä olisi tällöin 75-195 millisekuntia.

On toki muistettava, että mittaukset suoritettiin Kapiteelin pääkonttorissa ja että päätelaitteet sijaitsivat hyvin lähellä toisiaan, jolloin etenemisviive sekä siirtoverkon

aiheuttamat viiveet ovat hyvin pieniä. Yhteydet muihin konttoreihin lisäävät mitattuja viiveitä 0-20 ms ja samalla äänenlaatu laskee. Lisäksi on muistettava, että sivutoimipisteiden tietoliikenneväylillä liikkuu myös paljon muuta tietoa, jota siirretään niiden välillä ja tämä voi aiheuttaa puhepakettien hukkumista. Lyhyissä kokeissa, joita suoritettiin pienistä toimipisteistä, ei ollut kuitenkaan havaittavissa kuulomääräisesti pakettihukan aiheuttamia puheen katkoksia, vaan puhe kulki yhtä hyvällä äänenlaadulla kuin pääkonttoristakin.

Laskennallinen menetelmä (E-malli), jolla MOS-arvo lasketaan, vaikuttaa ensitarkastelussa pätevältä. Mittauksia tehdessä kuitenkin huomattiin, että kaikkia niitä komponentteja, jotka vaikuttavat äänenlaatuun, ei olekaan otettu huomioon tässä laskennallisessa ratkaisussa. Mittausten yksi merkittävämmistä äänenlaadullisia eroja aiheuttaneista osatekijöistä oli käytetty puhelinlaite. Sankamallisia luureja käytettäessä koettu äänenlaatu VoIP-ratkaisussa vaikutti jopa paremmalta kuin perinteisessä puhelinverkossa. Perinteistä luuria muistuttavaa Audibit U160 käytettäessä äänenlaatu oli taas merkittävästi huonompi. On totta, että tällaista puhelinlaitteen arviointia on vaikea sisällyttää laskennalliseen malliin, mutta jotenkin se olisi otettava huomioon. On harhaanjohtavaa luokitella jokin äänipolku tietyllä MOS-arvolla, mikäli se ei kerro kaikkea käytännön äänenlaadusta.

Perinteinen puhelinverkko on ollut olemassa jo pidemmän aikaa, ja puheenlaatu siinä on varsin hyvä. Lähes jokainen on käyttänyt perinteistä puhelinta, ja niinpä meillä onkin hyvä kuva sen tarjoamasta äänenlaadusta. Tämän takia PSTN:n puheenlaatua on hyvä käyttää vertailukohtana, kun tarkastelemme IP-puheluiden äänenlaadusta saamiamme tuloksia. Kuvassa 12 verrataan PSTN:n ja GSM:n äänenlaatua juuri saamiimme tuloksiin VoIP:n äänenlaadusta. Useissa lähteissä PSTN saa huonoimmassa tapauksessa MOS-arvon 4,1 ja GSM MOS-arvon 3,71 [33], [34], [35].



Kuva 12. VoIP-puheluiden äänenlaatu verrattuna GSM ja PSTN äänenlaatuun

Kuten kuvastakin havaitaan VoIP-mittauksissa saamamme tulokset ovat keskimäärin hieman GSM-tasoista ääntä parempia. Mittausten minimiarvo MOS:lle oli 3,5, joka on hieman huonompi kuin GSM:ssä. Tällä MOS-arvolla IP-pohjaisen puheratkaisun käyttöönotto vaikuttaa hieman arveluttavalta, sillä äänenlaatuun tyytymättömien määrä kasvaa jo sangen suureksi. Toisaalta keskiarvotulos MOS:lle (3,9) on hyvä ja tämän tuloksen pohjalta käyttöönotto vaikuttaa järkevältä. Verrattaessa IP-puheluiden äänenlaatua perinteisen puhelinverkon äänenlaatuun maksimituloksella päästään juuri ja juuri vastaaviin arvoihin.

Suoritettujen mittausten tarkoituksena oli oppia ymmärtämään IP-pohjaisen puheratkaisun viiveen ja viiveen vaihtelun luonnetta todellisessa yrityksen tietoverkossa. Tämä tavoite saavutettiin hyvin. Mittausten tavoitteena oli myös selvittää laskennallinen äänenlaatu ja tämän pohjalta päätellä, kannattaako puheratkaisun käyttöönotto äänenlaadun kannalta. Mittauksessa selvisivät lisäksi ne seikat, joihin IP-pohjaisia puhelinpalveluja tarjoavan yrityksen tulisi kiinnittää huomiota. Mikäli tarjotaan esimerkiksi ohjelmistopuhelinta, tulisi selvittää, voidaanko audiolaitteiden ja -ajureiden aiheuttamaa viivettä pienentää. Puheenlaatuun liittyvät mittaukset ovatkin suuri osa koko IP-pohjaisen puhelinratkaisun käyttöönottoa ja nämä mittaukset tuleekin tehdä jokaisessa käyttöönottoprojektissa erikseen.

6 Käyttöönoton vaiheet

Tässä kappaleessa kuvataan IP-pohjaisen puhelinjärjestelmän käyttöönoton vaiheita. Tarkoituksena ei ole määritellä tiukasti käyttöönottoprosessia, vaan luodaan eräänlainen muistilista asioista, joita tulee ottaa huomioon järjestelmän implementoinnissa. IP-pohjaisen puhelinjärjestelmän käyttöönotto voidaan jakaa pääpiirteissään kuuteen vaiheeseen, jotka ovat [36]:

1. Tarvekartoitus
2. Järjestelmän ja palvelun valinta
3. Verkon VoIP-valmiuden selvitys
4. Pilottivaiheen asennus ja testaus
5. Pilotointi
6. Vaiheittainen käyttöönotto

Vaiheet antavat raamit VoIP-muutosprojektille. On huomattava, että niitä ei ole välttämätöntä käydä läpi yllä mainitussa järjestyksessä ja että voi olla jopa välttämätöntä suorittaa useita eri vaiheita samanaikaisesti. Vaiheiden osatekijöitä käsitellään seuraavissa kappaleissa.

6.1 Tarvekartoitus

Ensimmäinen vaihe IP-puhelintekniikan käyttöönotossa on tarvekartoitus. Siinä lähdetään liikkeelle käymällä läpi liiketoiminnan lähtökohtia ja pohtimalla, voisiko jollain toisella toimintamallilla (ottamalla IP-puhelintekniikka käyttöön) päästä parempiin kokonaistuloksiin koko yrityksen kannalta. Tarvekartoitusvaiheessa käydään läpi nykyisen toimintamallin ongelmat, analysoidaan niitä ja luodaan tavoitteet uudelle järjestelmälle.

Kun tarve muutokselle on havaittu ja sen toteutusta on mietitty kartoitetaan muutoksen tuomat riskit. Joka kerta, kun jotain uutta tekniikkaa tai palvelua otetaan käyttöön, otetaan myös riski, että jokin ei menekään suunnitellulla tavalla. On muistettava, että myös siihen sisältyy riskejä, jos muutokseen ei ryhdytä.

Tarvekartoitusvaiheeseen liittyy myös nopea nykyisten data- ja ääniverkkojen kustannusten läpikäyminen, jotta seuraavaan vaiheeseen siirryttäessä olisi tarkempi kuva nykyisestä tilanteesta. Lisäksi tulee varmistaa, että yrityksessä joka aikoo vaihtaa puhelinjärjestelmäänsä on henkilö, joka tuntee hyvin sekä nykyisen puhelinverkon että nykyisen dataverkon. Muutosvaiheessa on äärimmäisen tärkeää tuntea aikaisempi puhelinverkko, jotta uuteen järjestelmään voidaan siirtyä mahdollisimman kivuttomasti ja vähimmillä ongelmilla.

6.2 Järjestelmän ja palvelun valinta

IP-puhelinteknologiaa ja palveluja tarjoavia yrityksiä on lukemattomia. Ne jakaantuvat kahteen tyyppiin: kokonaispalveluratkaisua tarjoaviin toimittajiin ja niihin, jotka tarjoavat IP-puhelinjärjestelmään yksittäisiä komponentteja. Puhelinjärjestelmä voidaan siis rakentaa ostamalla omaan liiketoimintamalliin soveltuvia IP-puhelinjärjestelmän komponentteja ja kokoamalla näistä haluttu kokonaisuus, tai sitten tilaamalla kokonaisratkaisu puhelinpalvelun saamiseksi. Useiden eri komponenttien yhteensovittaminen saattaa olla aikaa ja muita resursseja vievää, ja etenkin pienillä yrityksillä ei luultavasti ole henkilöresursseja monimutkaisten järjestelmien asentamiseen ja ylläpitoon. Tämän takia etenkin pienille yrityksille IP-puhelinpalvelua kokonaisratkaisuna tarjoavat yritykset saattavat olla paras ratkaisu.

Valittaessa järjestelmätyyppejä ja palvelua tulee selvittää kunkin vaihtoehdon kustannukset ja tämän jälkeen suorittaa kustannusvertailu eri vaihtoehtojen välillä. On muistettava ottaa huomioon myös kunkin ratkaisun helppokäyttöisyys, oheislaitteet ja ominaisuudet. Näitä seikkoja olisi syytä tarkastella yrityksen omien tarpeiden näkökulmasta, jotta uuden suunnitellun liiketoimintamallin tavoitteet saavutettaisiin.

Järjestelmää ja palvelua valittaessa on myös syytä käydä läpi projektiin kuluvia varoja sekä käytössä olevia henkilö- ja muita resursseja niin omassa kuin vastapuolenkin yrityksessä. Henkilöresursseista valitaan tässä vaiheessa projektin vastuhenkilö ja tukihenkilö(t) käyttäjillä esiintyviä ongelmia varten.

6.3 Verkon VoIP-valmiuden selvitys

Kun ollaan vaiheessa, että on päätetty millainen järjestelmä soveltuu parhaiten omaan yritykseen, voidaan ryhtyä selvittämään onko yrityksen tietoliikenneverkko valmis VoIP-liikenteen tuomaan lisäkuormaan. Tämä prosessi kannattaa aloittaa perusteilisesta nykyisen puhelinliikenteen analyysistä. Tiedon avulla voidaan ennustaa data- ja äänikaistan tarpeen suuruus jatkossa. Lisäksi näillä tiedoilla saadaan selville se, säästetäänkö uudella järjestelmillä puhelukustannuksissa.

Tiedonsiirtoverkon VoIP-valmiuden tarkistusvaiheessa käydään läpi kaikki yrityksen datayhteydet, joilla puhepaketit tulevat kulkemaan. Tällöin otetaan selville yhteyksien senhetkinen keskimääräinen kuormitus ja liikenteen erityispiirteet. Näiden tietojen ja senhetkisten puhelinliikennetietojen pohjalta voidaan määritellä, riittävätkö tietoliikenneyhteyksien kapasiteetit kuljettamaan myös äänipaketteja vai joudutaanko kapasiteettia mahdollisesti nostamaan. Vaihtoehtona voidaan vielä arvioida, kannattaisiko liikennettä luokitella tai varattaisiinko äänipaketeille mahdollisesti omia tietoliikenneyhteyksiä.

6.4 Pilottivaiheen asennus ja testaus

Ennen uuden puhelinjärjestelmän käyttöönottoa, on sitä koekäytettävä testiympäristössä. Vaiheen tarkoituksena on varmistaa järjestelmän sopivuus yrityksen tarpeisiin ja todentaa, että uusi järjestelmä on yhteensopiva jo olemassa olevien laitteiden ja ohjelmistojen kanssa. Testausvaiheessa tarkistetaan myös, että toiminnallisuus vastaa toimittajan lupauksia.

Vaiheen aikana opitaan myös ymmärtämään millaisia muutokset puhelin- ja tietoverkkoon tulevat olemaan. Asennuksessa ilmenevät ongelmat ja ratkaisut näihin on hyvä kirjata ylös, sillä niitä voidaan käyttää myöhemmässä vaiheessa hyväksi. Tämä helpottaakin tuotantovaiheen asennusta, sillä tällöin osataan varautua tiettyihin ongelmiin ja ne osataan ratkaista nopeasti. Asennuksen voidaankin olettaa olevan silloin nopeampaa ja vaivattomampaa.

6.5 Pilotointi

Uutta puhelinjärjestelmää testaamaan kannattaa valita suhteellisen pieni osa yrityksen työntekijöistä. Ryhmä kannattaa kuitenkin valita niin, että uusi puhelinjärjestelmä saadaan testattua sellaisella tarkkuudella, että tiedetään soveltuuko se yrityksen tarpeisiin. Mikäli uuden järjestelmän odotetaan parantavan esimerkiksi asiakaspalvelua, on tärkeää ottaa testausryhmään mukaan henkilöitä asiakaspalvelusta. Heidän havaitsemansa ongelmat ja mielipiteet voivat olla ratkaisevassa asemassa jatkon kannalta.

Testivaiheessa havaitaan helposti järjestelmässä esiintyviä vikoja ja ongelmia. On tärkeää tarkistaa jo tässä vaiheessa, ovatko ongelmat kriittisiä ja voidaanko niitä ratkaista. Testivaiheessa voidaan myös todentaa, saavutetaanko uudelle järjestelmälle asetetut tavoitteet alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Pilottivaiheessa havaitaan myös, jos uusi järjestelmä muuttaa työntekijöiden toimintatapoja epätoivottuun suuntaan.

6.6 Vaiheittainen käyttöönotto

Kun puhelinjärjestelmä on testivaiheessa todettu toimivaksi ja kaikki tarvittavat laskelmat ja mittaukset on suoritettu, voidaan uusi järjestelmä ottaa käyttöön. Käyttöönottovaiheen kesto riippuu paljon yrityksen koosta ja sen toiminnasta, eikä sitä voida suinkaan tehdä hetkessä. Useimmiten käyttöönotto on syytä tehdä vaiheittain.

Käyttöönoton ensimmäinen askel on määritellä etenemisvaiheet eli laatia käyttöönottosuunnitelma. Suunnitelma sisältää aikataulun järjestelmän asennuksista ja henkilökunnan koulutuksesta. Siinä määritellään myös muutokset niin tieto- kuin puhelinverkkoonkin sekä tukipalvelut. Aikataulu kannattaa tehdä riittävän väljäksi, niin että siihen jää tilaa odottamattomien pulmien ratkaisuun. Itse käyttöönotto suoritetaan määritellyn aikataulun mukaisesti, ja lopulta kun uusi IP-pohjainen puhelinjärjestelmä on kokonaisuudessaan käytössä, vanha puhelinjärjestelmä voidaan kytkeä pois päältä ja purkaa.

7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Nykyisin yritysten tietoliikenneverkot ovat erittäin vakaita, ja ne on rakennettu ottaen huomioon suuretkin tietoaineistojen siirrot. Tämä vakaus ja suuri kapasiteetti mahdollistaa myös yritysten puheluiden välittämisen samalla siirtomedialla. Kappaleessa 3 käytiin läpi erityisesti Kapiteelin tietoliikenneverkkoa ja todettiin, että keskimääräinen kuormitus tällä verkolla on varsin alhainen (alle 10%). Edes kuukausittaiset ruuhkatunnit eivät pistäneet tietoverkkoja aivan äärimmilleen, sillä keskimääräiset kuormitukset ruuhkatunnin aikana olivat noin 22%. Tästä voitiin tehdä sellainen johtopäätös, että tekemällä vain pieniä muutoksia tietoverkossa voidaan välittää myös yrityksen puhelut. Kuitenkin, mikäli IP-puheluiden välittäminen verkossa vaatii muutoksia, yrityksellä on käytännössä kaksi vaihtoehtoa: lisäresurssien varaus tai liikenteen priorisointi. Tänä päivänä liikenteen priorisointi on vielä kovin kallista, joten käytännössä ainoaksi ratkaisuksi puheluliikenteen turvaamiseksi jää lisäkapasiteetin varaaminen. Mikäli sama palveluntarjoaja toimittaisi sekä IP-pohjaisen puhelinratkaisun että datayhteydet, voisivat priorisointipalvelun hinnat laskea ja silloin priorisointia voitaisiin pitää parempana ratkaisuna.

Mikäli IP-puheluita ei välitetä yleisen Internetin kautta, voidaan ratkaisua pitää varsin turvallisena. Tällöin salakuuntelun ja palvelujen väärinkäytön uhka tulee lähinnä yrityksen sisältä ja yrityksen omasta tietoverkosta. Yrityksen lähiverkko tuleekin suunnitella siten, että muiden työasemien välittämän liikenteen näkeminen toiselta työasemalta on estetty ja että omien ohjelmistojen ja laitteiden asentaminen verkkoon on mahdotonta. Hyvällä tietoverkon suunnittelulla tietoverkkojen päälle rakennetusta puhelinjärjestelmästä on mahdollista saada turvallinen tapa välittää puheluita.

Neljännessä luvussa IP-puhelinratkaisun todettiin vaikuttavan usealla eri tavalla positiivisesti yrityksen liiketoimintaan. Yhtenä merkittävimpana IP-puhelinratkaisun puolestapuhujana ovat sen tuomat lisäarvopalvelut. Tästä hyvänä esimerkkinä on se, että työntekijän vaihtaessa työskentelypistettään puhelinnumero on välittömästi käytettävissä uudessa työpisteessä, sillä IP-verkko ei välitä siitä, missä kohdassa yrityksen sisäverkkoa henkilö työskentelee. Lisäksi IP-pohjainen puhelinpalvelu on hyvin skaalautuva – niin yrityksen kasvaessa kuin supistuessa. Hyviin puoliin

lukeutuvat myös erinomaiset raportointi- ja seurantamahdollisuudet sekä mm. työntekijöiden taitojen mukaan ohjautuvat puhelut. Näiden seikkojen lisäksi erityisarvoa Kapiteelille tuo mahdollisuus yhdistää asiakastietokanta ja puhelin niin, että ne toimivat yhdessä. Työntekijöillä on lisäksi mahdollisuus lähettää tekstiviestejä ja vastaanottaa puhepostia sekä hyödyntää hakemistopalveluja.

Tehdyissä taloudellisissa laskelmissa päädyttiin siihen, että ottamalla uusi puhelinjärjestelmä käyttöön säästetään koko puhelinjärjestelmän osalta yli 10% aikaisempiin kustannuksiin verrattuna. Samankaltaisiin tuloksiin on päätyntä myös Suomen Posti Oy, joka on jo useamman vuoden hoitanut Contact Centerinsä täysin IP-pohjaisesti. Paremman hallittavuuden ja logiikan ansiosta he ovat pystyneet säästämään jopa 47% puhelinpalvelunsa kustannuksista [37]. Vaikka eriäviä mielipiteitä onkin esiintynyt joissain lähteissä, edellä mainittujen tulosten pohjalta voidaan vetää sellainen johtopäätös, että IP-pohjaisen puhelinratkaisun käyttöönotto tuo yritykselle kustannussäästöjä.

Viidennessä kappaleessa tehtiin mittauksia IP-pohjaisen puheratkaisun äänenlaadusta Kapiteelin tietoverkossa. Mittauksissa kävi ilmi, että ohjelmistopohjaisella IP-puhelimella soitettaessa viive kasvoi yli 202 millisekunnin. Tätä voidaan pitää häiritsevänä useissa tilanteissa. Tämä on häiritsevää etenkin, jos ihmiset yrittävät saada sanottavansa sanotuksi hyvin nopeasti. Tällöin voi helposti käydä niin, että osapuolet puhuvat toistensa päälle. Mittausten perusteella laskettiin myös teoreettinen äänenlaatu, ja niiden mukaan IP-puhelinpalvelun äänenlaatu olisi hieman parempi kuin GSM-puhelimissa. Tulin kuitenkin mittausten pohdinnoissa siihen tulokseen, että laskennallinen äänenlaatu ei ole aivan tarkka, sillä käytetty puhelinlaite vaikuttaa erittäin paljon koettuun äänenlaatuun. Mittaukset eivät ole myöskään aivan vedenpitäviä koko Kapiteelin osalta, sillä mittaukset suoritettiin yrityksen pääkonttorissa, jossa on yrityksen parhaimmat tietoliikenneyhteydet. Tämän lisäksi yhteys yleiseen puhelinverkkoon sijaitsee Helsingissä. Tarkempien ja luotettavampien tulosten saamiseksi mittauksia olisi tullut suorittaa myös muissa toimipisteissä. Mittauksia voidaan kuitenkin pitää tarkkoina pääkonttorin osalta, sillä tältä osin aineistoa oli riittävästi luotettavien tulosten saamiseen.

Eri luvuissa saadut tulokset ja niistä tehty johtopäätökset ovat ristiriidassa keskenään. Toisaalta kustannusten, palvelujen ja tietoverkon valmiuden osalta IP-puhelintekniikan käyttöönotto näyttäisi erittäin houkuttelevalta. Jos taas katsotaan saatuja tuloksia puheluiden äänenlaadusta ja muista ongelmista kuten viiveestä näyttää käyttöönotto arveluttavalta. Yrityksen tulee itse päättää, ovatko kustannussäästöt ja uudet innovatiiviset palvelut äänenlaadun heikkenemisen arvoisia. Osa yrityksistä tulee varmasti jatkossa pitäytymään vanhassa järjestelmässä. Toisaalta taas innovatiivisimmat yritykset ja sellaiset, jotka kokevat saavansa edun kilpailijoihinsa nähden, mikäli he ottavat uuden tekniikan käyttöönsä, ovat varmasti IP-puhelinpalveluita tarjoavien yritysten ensimmäisiä asiakkaita.

Kapiteeli laajensi syksyllä 2002 VoIP-puhelinjärjestelmän koekäyttöä ottamalla sen käyttöönsä asiakaspalvelukeskuksessa sekä kasvattamalla peruskäyttäjien lukumäärää. Uuden puhelinjärjestelmän käyttäjien lukumäärä kasvoi siten, että vuoden 2002 loppuun mennessä noin 16% yrityksen työntekijöistä käytti VoIP-puhelimia. Koska uusi puhelinjärjestelmä vastasi Kapiteelin tarpeita ja sen toimivuus sekä luotettavuus osoittautui riittävän hyväksi, päätettiin aloittaa vaiheittainen VoIP-puhelinten käyttöönotto koko yrityksessä. Tavoitteeksi asetettiin järjestelmän laajentaminen toimipiste kerrallaan siten, että vuoden 2003 kuluessa uusi puhelinjärjestelmä olisi jokaisen työntekijän käytössä.

Pitkällä aikavälillä tietoverkkojen käyttäminen puheen välitykseen vaikuttaa olevan tehokkaampaa kuin perinteisten kytkentäisten puhelinverkkojen. Tämä päätelmä on kuitenkin syytä tehdä varovaisesti, sillä IP-pohjaisen puheenvälityksen tehokkuus ei selviä ensi vilkaisulla. Vaikka puheen välittämisessä siirryttäisiinkin tietoverkkoihin mitä enemmässä määrin, ei se silti tarkoita suuria taloudellisia säästöjä. Tässä kohtaa pitää tosin tehdä huomio, että PSTN-palveluhinnat eivät välttämättä perustu pelkästään puheen siirron ja kytkennän kustannuksiin, vaan hinta heijastaa myös palvelun laatua. Perinteiselle puhelinverkolle asetetut vaatimukset käytettävyyden, laadun ja luotettavuuden osalta on asetettu koko viestintäteollisuuden korkeimmalle tasolle. Tietoverkkojen käytön edullisuus voikin osittain perustua siihen, että näihin osatekijöihin ei ole panostettu samalla tavalla.

Tällä hetkellä IP-pohjaisia puhelinpalveluja tarjoavilla yrityksillä on mahdollisuus tarjota hieman perinteistä puhelinpalvelua edullisempaa palvelua. Tämän huomion pohjalta ei voida kuitenkaan pitää itsestään selvänä, että suuri osa puhelinpalvelumarkkinoista siirtyisi IP-pohjaisia puhelinpalveluja tarjoaville yrityksille. Ottaen huomioon nykyisten puhelinmarkkinoiden koon ja nykyisten puhelinoperaattoreiden vakaan aseman palvelujen tarjoajina tarkoittaa sitä, että tarvittaessa nämä telejätit tulevat puolustamaan omaa asemaansa joko tarjoamalla halvempia puheluhintoja tai kehittämällä itse vastaavia tuotteita IP-puhelujen tarjoamiseen. Tämän opinnäytteen tehneenä olen vakuuttunut, että lähitulevaisuudessa isot PSTN-operaattorit ryhtyvät kehittämään ja tarjoamaan IP-pohjaista puhelinpalvelua. Niiden etuna ovat riittävät resurssit tällaisten kehitysprojektien läpiviemiseen sekä vankka tietotaito puhelin-tekniikan alalta. Lisäksi uskon, että ne kykenevät vähentämään tällä hetkellä IP-puheratkaisussa ilmeneviä ongelmia.

Lähdeluettelo:

- [1] N.E.T. White Paper, "The Mean Opinion Score", http://www.net.com/products/narrowband/repository/white_papers/mos_wp/home.shtml, 2.9.2002
- [2] ITU-T, "P.830: Subjective Performance Assessment of Telephone-band and Wideband Digital Codecs", helmikuu 1996
- [3] Luis F. Ortiz, "Solving QoS in VoIP: A Formula for Explosive Growth, Special Report", Brooktrout Technology, heinäkuu, 2001
- [4] ITU-T, "P.800: Methods for subjective determination of transmission quality", elokuu 1996
- [5] ITU-T, "G.107: The E-model, a computational model for use in transmission planning", moukokuu 2000
- [6] TIA/EIA Telecommunications Systems Bulletin TSB116, "Voice Quality Recommendations for IP Telephony", maaliskuu 2001
- [7] Yletyinen T., "The Quality of Voice over IP", Helsinki University of Technology, Masters thesis, maaliskuu 1998
- [8] Nieminen P., "Puheensiirron toteuttaminen ja taloudellisuus yrityksen IP-pohjaisessa verkossa", Teknillinen Korkeakoulu, Diplomityö, elokuu 2000
- [9] ITU-T, "P.830: Subjective Performance Assessment of Telephone-band and Wideband Digital Codecs", Helmikuu 1996
- [10] Casner S., "Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links", Network Working Group, Request for Comments: 2508, helmikuu 1999
- [11] <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/wanbu/mgx8850/vism21/vm210ch5.htm#xtocid4>, 23.1.2003
- [12] ITU, IPTel-2/11-E, "Proposed contribution to ITU Expert Group (technical issues) on IP Telephony", 2nd Experts Group Meeting, lokakuu 2001
- [13] ITU-T, "G.114: One-way transmission time", toukokuu 2000
- [14] Huston G., "ISP Survival Guide", Wiley Computer Publishing, 1999, 661s, ISBN 0-471-31499-4
- [15] Postel J., "User Datagram Protocol", Network Working Group, Request for Comments: 768, elokuu 1980
- [16] Schulzrinne H., "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", Network Working Group, Request for Comments: 1889, tammikuu 1996

- [17] Petterson L., Davie B., "Computer Networks: A Systems Approach", 2nd ed, California, Morgan Kaufmann Publishers, 2000, 748s, ISBN 1-55860-514-2
- [18] Microsoft Netmeeting User Guide, "Chapter 11: Understanding the H.323 Standard", <http://www.microsoft.com/windows/NetMeeting/Corp/reskit/Chapter11/default.asp>, 2.9.2002
- [19] ITU-T, "H.323: Packet-based multimedia communications systems", marraskuu 2000
- [20] http://www.etsi.org/frameset/home.htm?/T_news/0004_h323.htm, 22.1.2003
- [21] <http://www1.avaya.com/enterprise/brochures/ip600.pdf>, 22.1.2003
- [22] Handley M., "SIP: Session Initiation Protocol", Request for Comments: 2543, maaliskuu 1999
- [23] http://www.tml.hut.fi/Opinnot/Tik-110.350/2001/Tehtavat/tehtava_09_malli.html, 27.11.2002
- [24] Haeggström J., Koistinen T., "IP Telephony", CIARM Conference Sample Paper, Nokia Telecommunications, lokakuu 1998
- [25] Kapiteeli Oy, <http://www.kapiteeli.fi>, 19.11.2002
- [26] Merlin Systems Oy, <http://www.merlin.fi/company/>, 28.11.2002
- [27] Surfnet, "H.323 and Firewalls: Problems and solutions", <http://www.surfnet.nl/innovatie/surfworks/showcase/h4.html>, 2.9.2002
- [28] Weiss W., "Security Concerns with VOIP", http://rr.sans.org/VOIP/sec_concerns.php, elokuu 2001
- [29] Davidson J., Peters J., "Voice over IP", Edita, IT Press, 2002
- [30] Tietoviikko, s.16-17, Nro.34, 10.10.2002
- [31] Brealey R., Myers S., "Principles of Corporate Finance", 6th ed., London, McGrawHill, 2000, 1073s, ISBN 0-07-290999-4
- [32] Selin J., "Media Management in IP Telephony Systems", Helsinki University of Technology, Masters thesis, 2001
- [33] Prasad R., "Issues Relating to Congestion Management in PSTN Equivalent VoIP Network", http://www.aptsec.org/studygroup/SG_period_2000-2002/Internet-workshop/Documentation/papers/SG02-WITR-14_India-TRAI.doc, 2.9.2002
- [34] Cisco Systems, "Understanding Codecs: Complexity, Hardware Support, MOS, and Negotiation", http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/codec_complexity.html#mos, 2.9.2002

- [35] http://www.cdmatech.com/solutions/pdf/purevoice_wp.pdf, 2.9.2002
- [36] www.heltel.fi/www/tuotteet/Finnet_EXPO_2001_puheliikenne.pdf, 2.9.2002
- [37] Jarmo Vuorivirta, Suomen Posti Oy, Postintaival 7a, 00230 Helsinki, Haastattelu 12.3.2002